

中国汉族女性青少年法医学活体骨龄推断数学模型的建立

王亚辉^{1,2}, 朱广友², 王鹏^{1,2}, 范利华², 张国桢³, 应充亮², 陆晓², 程亦斌²

(1. 苏州大学医学院, 江苏 苏州 215123; 2. 司法部司法鉴定科学技术研究所 上海市法医学重点实验室, 上海 200063; 3. 复旦大学附属华东医院放射科, 上海 200040)

摘要:目的 建立推断中国汉族女性青少年活体骨龄的数学模型。方法 摄取华中、华南及华东等地区的 838 名年龄介于 11~20 周岁正常女性青少年双侧锁骨胸骨端以及左侧肩、肘、腕、髌、膝、踝关节的 X 线片。依据青少年骨发育分级标准对 24 项骨骼发育指标进行阅片、分级, 结合考虑身高、体质量及地区等影响因素, 应用 SAS8.1 及 SPSS11.0 软件进行统计学处理, 探索各指标与年龄的相关性。结果 建立了我国汉族女性青少年利用锁骨胸骨端及 6 大关节骨骼闭合程度联合推断活体年龄的多元回归数学模型, 推导出判定我国汉族女性青少年是否已满 14、16 和 18 周岁的 Fisher's 两类判别分析方程。结论 本研究所建立的判定活体年龄的数学模型丰富了活体年龄的法医学鉴定方法, 有利于提高活体骨龄鉴定方法的科学性和结论的准确性。

关键词:法医学人类学; 女性青少年; 骨龄; 骨骼; 数学模型

中图分类号:DF795.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-5619(2008)02-0110-04

Mathematical Models of Forensic Bone Age Assessment of Living Subjects in Chinese Han Female Teenagers

WANG Ya-hui^{1,2}, ZHU Guang-you², WANG Peng^{1,2}, FAN Li-hua², ZHANG Guo-zhen³, YING Chong-liang², LU Xiao², CHENG Yi-bin²

(1. Medical school of Soochow University, Suzhou 215123, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Forensic Medicine, Institute of forensic science, Ministry of Justice, P.R.China, Shanghai 200063, China; 3. Radiology department, Huadong hospital, Fudan University, Shanghai 200040, China)

Abstract: **Objective** To establish mathematical models which are used to assess bone age of living subjects in Chinese Han female teenagers. **Methods** Radiographs were taken from 838 normal Chinese female subjects aged from 11 to 20 years old including sternal end of clavical and the left side of shoulder, elbow, carpal, hip, knee and ankle joints, which were from Middle China, South China and East China. Then read and grade the 24 osteal loci in accordance with the grading criteria of skeletal growth of teenagers. Meanwhile, the influencing factors such as: height, body mass and location are all taken into account. To explore the associativity between each index and chronological age, all the statistic procedures were finished by SAS 8.1 and SPSS 11.0. **Results** To construct several combining multiple regression mathematical models that use the arrested extent of epiphysis of sternal end of clavical and six joints to assess the chronological age of living subjects in Chinese Han female teenagers, and establish some Fisher's discriminatory analysis equations which are used to determine whether the chronological age of Chinese Han female teenagers has been to 14, 16 and 18 years old or not. **Conclusion** These mathematical models which used to assess the age of living subjects has profused the methods of forensic bone age identification of living subjects. It also made the methods and conclusions much more scientific and accurate.

Key words: forensic anthropology; female teenager; bone age; epiphysis; mathematical models

在许多国家, 不论是民事案件还是刑事案件, 法医学专家进行活体年龄推断这项工作都至关重要。2002 年我国最高人民检察院对于骨龄鉴定结果能否

作为法庭证据使用作出了肯定性的回答^[1], 此后骨龄鉴定作为法医学活体年龄鉴定方法备受关注, 全国不少司法鉴定机构都在开展骨龄鉴定工作。然而, 由于缺乏科学、规范、统一的鉴定标准和方法, 同样的个体在不同的鉴定机构经常会出现不同的鉴定结论, 以致人们对于骨龄鉴定的科学性和准确性产生怀疑。为了维护司法公正, 使有关案件能顺利终结, 笔者总结了前人骨龄研究成果, 专门对我国 11~20 周岁女性青少年骨骼发育特征进行了系统观察和研究, 并根据各大关节骨骼发育特征在 X 线片上的不同表现制定了一

基金项目: 国家科技部重点资助项目 (2004DEA70970); 上海市科学技术委员会重点资助项目 (042512036)。

作者简介: 王亚辉 (1982-), 男, 陕西榆林人, 硕士研究生。主要从事法医临床学与法医学骨骼年龄推断研究和工作。Tel: 021-52361421, E-mail: wyhcrazy@163.com。

通讯作者: 朱广友 (1953-), 男, 安徽肥东人, 研究员, 硕士生导师。主要从事法医临床学研究及鉴定工作。Tel: 021-52361421, E-mail: zgy@ssfjd.cn。

套准确可行、操作简便的青少年骨骼发育分级标准^[2]。依据该分级标准阅片、分级,建立了一系列利用双侧锁骨胸骨端及左侧肢体6大关节中24个骨骺、身高、体质量及地区共27项指标,联合推断我国汉族女性青少年骨骼年龄的多元回归数学模型和判定是否已满14、16和18周岁的Fisher's 两类判别分析方程。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 样本

从我国华中、华南及华东等三地通过分层整群抽样法分别抽取11~20周岁健康女性青少年样本共838例;其中训练样本(参与统计分析的样本)共744例,校验样本共94例。所有的受试者均签署知情同意书,本次科研符合有关医学伦理条款。

以“国人正常身高、体质量范围调查表”^[3]为准,采排除超高、超重的个体,按照医学常规拍摄双侧锁骨胸骨端正位、左侧肩、肘、腕(包括全手)、髌、膝、踝关节正位片,共计得有效X线片5866张。所选指标包括X线片上24个骨骼发育指标^[2]以身高(*h*)、体质量(*m*)、地区(*L*)共27项观察指标。

1.1.2 仪器

摄片以200~500 mA、80~100 kV的X线摄影装置为基准。阅片采用菲特(上海)信息技术有限公司MIWORKS 5.0.0.6 PACS骨龄阅片软件及日本EIZO专业显示器中国公司EIZO RadiForce G20-S显示器。

1.2 方法

1.2.1 分级方法

具体分级方法见参考文献[2]。

1.2.2 阅片方法

由2名放射科教授与2名硕士研究生共同利用Miworks骨龄阅片软件并参照青少年骨发育分级标准进行双盲法读片,按读片结果逐一记录。

1.2.3 统计学分析

用SAS8.1以及SPSS11.0统计软件包对数据进行统计分析。分别进行女性各骨龄指标、身高、体质量等与年龄之间的pearson相关性分析、多元回归分析、聚类分析及Fisher's 两类判别分析^[4-6]。

2 结果

2.1 各观察指标与年龄间的相关性

将身高、体质量及24项骨骼发育指标与年龄进行pearson相关分析,为筛选与年龄相关的重要变量提供依据。

由表1可以看出,除 X_6 、 X_7 、 X_{14} 、 X_{17} 、 h 、 m 与年龄呈低度相关关系($r < 0.60$, $P > 0.05$)外,其他各指标均与年龄呈中度以上的相关关系($0.60 \leq r < 0.80$, $P < 0.001$)。其中 X_1 、 X_2 、 X_4 、 X_8 、 X_9 、 X_{15} 、 X_{16} 、 X_{22} 等指标与年龄间均呈高度相关关系($r \geq 0.80$, $P < 0.001$)。

表1 中国汉族女性青少年各观察指标与年龄的pearson相关性分析

观察指标	相关系数 <i>r</i>	观察指标	相关系数 <i>r</i>
X_1	0.80 ²⁾	X_{14}	0.58 ³⁾
X_2	0.80 ²⁾	X_{15}	0.82 ²⁾
X_3	0.73 ¹⁾	X_{16}	0.80 ²⁾
X_4	0.80 ²⁾	X_{17}	0.43 ³⁾
X_5	0.62 ¹⁾	X_{18}	0.61 ¹⁾
X_6	0.37 ³⁾	X_{19}	0.65 ¹⁾
X_7	0.51 ³⁾	X_{20}	0.67 ¹⁾
X_8	0.83 ²⁾	X_{21}	0.71 ¹⁾
X_9	0.82 ²⁾	X_{22}	0.80 ²⁾
X_{10}	0.63 ¹⁾	X_{23}	0.67 ¹⁾
X_{11}	0.69 ¹⁾	X_{24}	0.70 ¹⁾
X_{12}	0.65 ¹⁾	h	0.43 ³⁾
X_{13}	0.65 ¹⁾	m	0.47 ³⁾

注:1)中度相关;2)高度相关;3)低度相关

2.2 单因素最佳模型探索

考虑到年龄与各指标间的关系可能是非线性数学模型,拟用SAS的proc nlin过程(非线性回归过程)探索年龄与各指标之间的最优数学模型,为变量变换和多因素模型的探索做准备。拟选用的11个模型见表2。选用的标准为调整的决定系数($Adj-R^2$)为最大。经统计分析得出指数方程的 $Adj-R^2$ 最高,即指数方程为各观察指标与年龄之间的最优拟合单因素数学模型。在多因素模型探索中,将对各观察指标利用指数方程进行变量变换,使之更好地反映出与年龄的关系。

表2 模型类型及函数格式

模型名称	函数格式
线性方程	$y=b_0+b_1x$
二次方程	$y=b_0+b_1x+b_2x^2$
复合曲线模型	$y=b_0b_1^x$
等比级数曲线模型	$y=e^{(b_0+b_1/x)}$
对数模型	$y=b_0+b_1\ln x$
三次方程	$y=b_0+b_1x+b_2x^2+b_3x^3$
S型曲线	$y=e^{(b_0+b_1/x)}$
指数方程	$y=b_0e^{b_1x}$
倒数方程	$y=b_0+b_1/x$
乘幂曲线模型	$y=b_0x^{b_1}$
Logistic曲线模型	$y=1/(1/u+b_0b_1^x)$

2.3 多因素数学模型

经过对 24 项骨骼发育指标及身高、体质量、地区进行统计分析,分别建立了女性多元逐步回归方程、变量变换后的多元回归方程、指标聚类分析方程等数学模型,本研究选取了均方误差最小、调整后决定系数($Adj-R^2$)最大的几个方程,见表 3。

2.4 Fisher's 两类判别分析方程

经过对 24 项骨骼发育指标及身高、体质量进行统计分析,分别建立了判别我国汉族女性青少年是否已满 14、16、18 周岁的判别分析方程,本研究得出方程预测年龄综合判别率相对较高的几个数学模型,见表 4。

3 讨 论

在我国,目前大多数司法鉴定机构进行法医学活体年龄推断时主要依据骨骼发育过程中继发骨化中心出现及骨骺闭合的先后顺序来进行分析和判断,该方法简便、易行,结论较为客观。近年来的研究表明,骨骼发育除与遗传、种族等因素有关外,还与身高、体质量、地区等因素有关。特别是随着健康状况和生活条件的改善,我国青少年的骨骼发育普遍提前。2000 年,田雪梅等^[7-8]对我国青少年肢体 6 大关节 X 线片进行观察,并通过数理统计分析建立了利用全身 6 大关节骨骺闭合程度判别青少年活体年龄的多元回归方程和判别分析方程。但由于其样本来源单一(仅河南周口地区)、资料相对较少(男、女性仅 360 例),其

结果的可靠性仍有待于进一步论证。

为更好地适应我国当前法律法规关于不同年龄段青少年犯罪定罪量刑的具体规定,增强骨龄鉴定方法的科学性、提高骨龄鉴定结论的准确性成为当前骨龄研究的重中之重。本次研究,我们遴选出锁骨胸骨端以及能够在 X 线片上准确反映青少年骨骼发育特征的躯体 6 大关节 24 项骨骼发育指标,同时将身高、体质量及地区等 3 个影响因素考虑在内,对活体骨龄推断进行综合研究。首先对 24 项骨骼发育指标及身高、体质量与年龄之间的关联程度进行 pearson 相关性分析,再采用单因素模型和多因素模型进行拟合优度探索,分别运用多元回归法、聚类分析法及 Fisher's 两类判别分析等统计学方法建立了推断我国汉族女性青少年活体年龄的一系列数学模型。

本研究结果显示,除 X_6 、 X_7 、 X_{17} 、 h 、 m 与年龄呈低度相关关系($r<0.60$, $P>0.05$)外,其他各指标均与年龄呈中度以上的相关关系 ($0.60\leq r<0.80$, $P<0.001$),其中 X_1 、 X_2 、 X_4 、 X_8 、 X_9 、 X_{15} 、 X_{16} 、 X_{22} 等指标与年龄间均呈高度相关关系($r\geq 0.80$, $P<0.001$),身高、体质量及地区等因素亦被引入不同的数学模型中。这与多因素模型探索引入的观察指标完全一致,即与年龄变化密切相关的胸锁关节(锁骨胸骨端)、肩关节、腕关节以及髋关节(髂嵴和坐骨)等部位的指标均参与数学模型的估计,说明这些部位的骨龄指标发育能更好地反映年龄的变化规律;同时,从各类数学模型可以看出,引入的上肢骨关节的观察指标明显多于下肢骨,说明上

表 3 中国汉族女性青少年多因素模型探索结果

数学模型	骨骼发育指标	预测方程	调整后的决定系数 ($Adj-R^2$)	均方误差 (MSE)	准确率/% (± 10 岁)	准确率/% (± 1.5 岁)
强迫进入 (去除地区因素)	X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_8 、 X_{15} 、 X_{16}	$Y=9.414+0.462X_1+0.182X_2+0.493X_3+$ $0.226X_4+0.304X_8+0.184X_{15}+0.096X_{16}$	0.814 1	0.981 96	78.5	93.9
变量变换	nX_1 、 nX_2 、 nX_3 、 nX_4 、 nX_{15} 、 nX_{16} 、 L_1 、 L_2	$Y=-4.772+0.340nX_1+0.117nX_2+0.207nX_3+$ $0.233nX_4+0.280nX_{15}+0.120nX_{16}+$ $0.345L_1-0.096L_2$	0.811 9	0.993 42	68.8	87.4
多元逐步回归 (变量变换)	nX_1 、 nX_2 、 nX_3 、 nX_4 、 nX_{12} 、 nX_{15} 、 nX_{16}	$Y=-4.200+0.330nX_1+0.173nX_2+0.202nX_3+$ $0.224nX_4-0.127nX_{12}+0.320nX_{15}+$ $0.152nX_{16}$	0.805 6	1.021 49	68.1	87.2
强迫进入	X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_8 、 X_{15} 、 X_{16} 、 L_1 、 L_2	$Y=9.262+0.434X_1+0.096X_2+0.475X_3+$ $0.271X_4+0.330X_8+0.182X_{15}+0.122X_{16}+$ $0.314L_1-0.242L_2$	0.818 7	0.957 34	67.9	88.3
多元逐步回归	X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_8 、 X_{12} 、 X_{15} 、 X_{16} 、 h	$Y=8.606+0.007H+0.429X_1+0.198X_2+$ $0.462X_3+0.261X_4+0.312X_8-0.24X_{12}+$ $0.213X_{15}+0.176X_{16}$	0.811 1	0.992 34	67.5	87.7
聚类分析	X_{11} 、 X_{21} 、 X_{24} X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_8 、 X_{15} h 、 X_7 、 X_{17}	$Y=0.23874(8.985+0.526X_{11}+0.957X_{21}+$ $0.291X_{24})+0.59873(9.457+0.458X_1+$ $0.188X_2+0.484X_3+0.234X_4+0.326X_8+$ $0.213X_{15})+0.16254(-4.937+0.092H+$ $1.017X_7+0.668X_{17})$	0.553 0	1.276 0	63.4	80.3

注: L_1 代表华中,系数定义为 1; L_2 代表华南,系数定义为 2

表 4 中国汉族女性青少年 14、16、18 周岁 Fisher's 两类判别分析方程

年龄 (周岁)	判别模型	骨骼发育指标	判别方程	综合判别率/% (训练样本)	综合判别率/% (校验样本)
14	逐步回归 判别模型	$X_2, X_4, X_5, X_{15},$ X_{17}, X_{18}, m	$Y_1 = -28.231 + 0.652m + 2.385X_2 - 0.565X_4 + 1.312X_5 -$ $2.343X_{15} + 17.116X_{17} - 1.137X_{18}$	76.9	100.0
			$Y_2 = -34.686 + 0.604m + 3.060X_2 + 0.090X_4 + 2.025X_5 -$ $2.075X_{15} + 15.982X_{17} - 0.263X_{18}$	87.2	90.0
16	最佳判 别模型	$X_1, X_3, X_4, X_8, X_{14},$ $X_{15}, X_{16}, X_{22}, h, m$	$Y_3 = -564.555 + 7.032h - 2.183m - 1.013X_1 + 6.300X_3 + 6.782X_4 -$ $13.533X_8 + 24.888X_{14} - 3.596X_{15} + 8.407X_{16} + 7.035X_{22}$	78.0	100.0
			$Y_4 = -578.598 + 7.092h - 2.198m - 0.654X_1 + 7.157X_3 + 7.448X_4 -$ $12.811X_8 + 23.077X_{14} - 2.946X_{15} + 8.966X_{16} + 6.493X_{22}$	74.7	77.0
18	最佳判 别模型	$X_1, X_2, X_3, X_8, X_{13},$ $X_{14}, X_{16}, X_{19}, h, m$	$Y_5 = -1333.433 + 7.794h - 1.471m - 0.984X_1 + 17.472X_2 + 0.854X_3 -$ $36.153X_8 - 292.534X_{13} + 393.033X_{14} + 0.492X_{16} + 297.353X_{19}$	68.5	69.2
			$Y_6 = -1332.931 + 7.762h - 1.483m - 0.531X_1 + 18.142X_2 + 1.923X_3 -$ $34.833X_8 - 299.962X_{13} + 399.432X_{14} + 1.723X_{16} + 294.841X_{19}$	87.4	93.1

注: Y_1 表示不超过 14 周岁, Y_2 表示已超过 14 周岁。若 $Y_1 > Y_2$, 则判定年龄不超过 14 周岁; 若 $Y_1 < Y_2$, 则判定为年龄已超过 14 周岁
 Y_3 表示不超过 16 周岁, Y_4 表示已超过 16 周岁。若 $Y_3 > Y_4$, 则判定年龄不超过 16 周岁; 若 $Y_3 < Y_4$, 则判定为年龄已超过 16 周岁
 Y_5 表示不超过 18 周岁, Y_6 表示已超过 18 周岁。若 $Y_5 > Y_6$, 则判定年龄不超过 18 周岁; 若 $Y_5 < Y_6$, 则判定为年龄已超过 18 周岁

肢骨关节发育对于我国汉族女性青少年骨龄推断更为重要。这些都为今后青少年骨龄研究提供新的思路。从上述多因素数学模型来看, “去除地区因素强迫进入法”预测年龄的误差在 ± 1.0 岁以内的准确率高达 78.5%, 误差在 ± 1.5 岁以内的准确率高达 93.9% ($Adj-R^2 = 0.8141$)。与其他多因素数学模型相比, 在实际使用中应首推该方程。该项研究结果的准确率高干牛丽萍^[9]的研究。从 Fisher's 两类判别分析方程来看, 训练样本的综合判别率介于 68.5%~87.4%, 略低于田雪梅^[7-8,10]的研究结果, 其原因可能是我们的资料来源于多个地区, 由地区差异影响所致。但校验样本的综合判别率最高者可达 100.0%, 这可能与样本数量较少或随机抽样使单一地区的样本量较为集中有关。

4 结 语

纵观以往国内外骨龄研究, 单独利用近千例的大样本进行女性青少年活体骨龄研究的报道并不多见, 而同时采用锁骨胸骨端及肢体 6 大关节骨骼发育指标并结合身高、体质量、地区等因素联合推断女性青少年活体年龄在我国尚属首次。这些珍贵的影像学资料对今后进一步深入的骨龄研究奠定了基础。因此, 不论是多元回归法还是 Fisher's 两类判别分析法, 该类研究所建立的判定活体年龄的一系列数学模型丰富了活体年龄鉴定方法, 有利于提高活体骨龄鉴定方

法的科学性和结论的准确性。

参考文献:

- [1] 最高人民检察院关于“骨龄鉴定”能否作为确定刑事责任年龄证据使用的批复[Z].2002.
- [2] 朱广友, 范利华, 张国栋, 等. 青少年骨发育 X 线分级方法[J]. 法医学杂志, 2008, 24(1): 18-24.
- [3] 中国学生体质与健康研究组. 95 中国学生体质与健康调研报告[M]. 北京: 吉林科学技术出版社, 1996: 47-71.
- [4] 孙振球, 徐勇勇. 医学统计学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 9-83, 140-318, 427-477.
- [5] 周皓. 统计基础和 SPSS11.0 入门与提高[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 52-143, 281-336.
- [6] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 SPSS 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 141-291, 365-459.
- [7] 田雪梅, 刘庄朝, 凌定文, 等. 青少年骨关节 X 线片的骨龄研究[J]. 刑事技术, 2001, 2: 6-10.
- [8] 田雪梅, 张继宗, 闵建雄, 等. 男性青少年 X 线片的骨骼特征及年龄推断[J]. 中国法医学杂志, 2001, 16(2): 91-94.
- [9] 牛丽萍, 王英元. 青少年肩关节 X 线片的骨龄研究[J]. 法医学杂志, 2002, 18(4): 204-206.
- [10] 张继宗, 田雪梅. 法医人类学经典骨龄鉴定-中国青少年骨骼 X 线片图库[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 33-44.

(收稿日期: 2008-02-20)

(本文编辑: 夏文涛)