·诊治分析·

超声定量评估骨龄的临床应用价值

过雨佳，陆建卫，张露娜，蔡嘉望

【摘要】目的　分析超声测量骨化率（OR）与 X 线 GP 图谱法评估骨龄（BA）的相关性。**方法**　本研究为前瞻性观察性研究。选取 2025 年 3－8 月就诊于平湖市第一人民医院的 50 名儿童青少年为研究对象，所有受试者入院后均接受左侧手腕部 X 线检查，获得 BA，同时行超声检查测量左侧桡骨、尺骨及股骨内侧髁的骨化中心与骨骺长径，计算相应部位骨化中心与骨骺长径之比，获取 OR，3 个部位 OR 之和即为总 OR。采用 Pearson 相关性分析超声测量各部位 OR、总 OR 与 BA 的相关性。**结果**　不同性别儿童青少年各目标骨 OR 随 BA 增长呈上升趋势（均 $P < 0.05$）；Pearson 相关分析显示，男童桡骨、尺骨、股骨内侧髁 OR 及总 OR 与 BA 均呈正相关（r=0.907、0.905、0.878、0.933，均 $P < 0.05$）；女童桡骨、尺骨、股骨内侧髁 OR 及总 OR 与 BA 均呈正相关（r=0.915、0.890、0.925、0.938，均 $P < 0.05$）。**结论**　超声定量测量桡骨、尺骨及股骨内侧髁 OR 与 X 线 GP 图谱法评估 BA 呈高度相关性，且总 OR 与 BA 相关性更强。超声检查在评估儿童青少年 BA 中展示出较好的应用潜力。

【关键词】　骨龄；超声；X 线；骨化率

DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.07.019

【中图分类号】　R445.1　**【文献标志码】**　A　　**【文章编号】**　1671-0800(2026)07-0784-03

骨骼发育过程具有连续性、阶段性，不同阶段骨骼形态也存在明显差异。骨龄（bone age，BA）能够准确反映儿童青少年生物学年龄，同时了解其生长发育潜力、性成熟趋势，被广泛用于评估儿童青少年生长发育状况，诊断内分泌疾病、遗传性疾病等领域[1]。目前，手腕部 X 线检查是 BA 评估的“金标准”，多采用 GP 图谱法和 TW3 评分法。GP 图谱法将受检者手腕部 X 线片与系列标准骨龄图谱进行视觉匹配，选取最相近的图谱直接读取 BA，具有操作简便、评估快速等优势，但该方法缺乏定量分析，评估结果受检查者主观经验影响较大[2]。TW3 评分法则不对整张片子做图谱匹配，而是对手腕部多块目标骨骼逐一判定其发育分期并赋予成熟分值，累加得到骨骼成熟总分后换算得到 BA，准确性高、客观性强，但操作复杂、耗时较长，不利于大样本筛查及临床快速评估[3]。而且 X 线检查存在电离辐射风险，对需要长期动态随访的儿童青少年可能带来潜在健康危害。超声技术是一种无创、无辐射、操作简单的影像学检查方法，近年来在 BA 评估领域受到广泛关注。骨化率（ossification ratio，OR）指骨化中心与骨骺的长径比值，能够连续反映骨骼从软骨到骨化的成熟过程，是超声定量评估 BA 的重要指标，有取代 X 线趋势[4]。鉴于此，本研究分析超声定量评估 BA 的临床应用价值，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　本研究为前瞻性观察性研究。选取 2025 年 3－8 月就诊于平湖市第一人民医院的 50 名儿童青少年为研究对象。纳入标准：（1）年龄＜ 18 岁；（2）就诊后 1 周内完成 X 线、超声检查；（3）配合度良好。排除标准：（1）入组前 6 个月内服用过影响骨代谢的药物；（2）腕关节发育畸形；（3）近 1 年内有骨骼外伤史或手术史。其中男 26 例，女 24 例；年龄 4 ～ 15 岁，平均（9.6±2.3）岁；就诊原因：身材矮小 23 名，性发育异常 17 名，生长发育监测 7 名，其他 3 例。本研究获得平湖市第一人民医院医学伦理委员会批准（批件号：平湖一院伦审 2025 研第 005 号），所有研究对象均由法定代理人同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.2　方法

1.2.1　X 线检查　使用 X 线机拍摄受试者左手腕部正位片。嘱咐受试者左手五指呈自然伸开功能位，手腕与影像板紧贴，管电流 300 mA，管电压 45 ～ 50 kV，

基金项目：　平湖市科技计划项目（2025-49）

作者单位：　314200 平湖，平湖市第一人民医院

通信作者：　过雨佳，Email：13732596271@163.com

焦片距 75 ～ 90 cm。BA 评估：应用双盲法，由两名具有 5 年以上评估经验的儿科内分泌专业医生独立采用 GP 图谱法进行评估。两名医师评估结果差异≤0.5 岁，取平均值作为最终 X 线 BA；若差异＞0.5 岁，由第 3 名资深儿科医师参与评估，达成一致后确定最终 X 线 BA。

1.2.2　超声检查　使用飞利浦超声诊断仪，PHILIP EPIQ 5 诊断仪，配备线阵探头 4 ～ 18 MHz。受检者取仰卧位，探头沿桡骨远端冠状面纵向放置于桡骨茎突处、尺骨茎突处、股骨内侧髁处进行成像，清晰显示各目标骨的骨化中心、骨骺中心，测量骨化中心最大长径（d）及骨骺最大长径（D），计算相应部位骨化中心与骨骺长径之比，即 OR=d/D×100%。左侧桡骨、尺骨、股骨内侧髁各测量 3 次，取平均值，3 个部位 OR 相加即为总 OR。所有检查操作均由同一名具有 5 年以上超声诊断经验的医师完成。

1.3　统计方法　采用 SPSS 24.0 软件进行数据处理，计量资料以均数±标准差表示，采用独立样本 t 检验；采用 Pearson 相关分析评估超声测量 OR 与 X 线 BA 之间的相关性。$P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　不同性别研究对象基本资料比较　男童与女童年龄、身高、体质量及体质量指数差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$），见表 1。

表 1　不同性别研究对象基本资料比较

性别	例数	年龄（岁）	身高（cm）	体质量（kg）	BMI（kg/m²）
男	26	9.6±2.3	132.26±14.72	32.59±9.43	18.23±2.47
女	24	9.3±2.2	133.26±15.80	32.18±9.78	18.50±2.16
t 值		0.487	0.232	0.033	0.410
P 值		＞0.05	＞0.05	＞0.05	＞0.05

注：BMI 为体质量指数

2.2　超声测量不同 BA 儿童青少年目标骨总 OR　以 BA 为“金标准”，按照 BA 将受试者分为 4 ～ 6 岁、7 ～ 9 岁、10 ～ 12 岁、13 ～ 15 岁。不同 BA 组男、女童桡骨 OR、尺骨 OR、股骨内侧髁 OR 及总 OR 比较，差异均有统计学意义（$F \geqslant 46.971$，均 $P < 0.05$）；进一步趋势分析显示，随着 BA 增长，男、女童各自目标骨 OR 及总 OR 均呈升高趋势（$F \geqslant 65.807$，均 $P < 0.05$），见表 2。

2.3　超声测量 OR 与 X 线 BA 的相关性分析　男童桡骨、尺骨、股骨内侧髁 OR 及总 OR 与 X 线 BA 均呈正相关（均 $P < 0.05$）。女童桡骨、尺骨、股骨内侧髁 OR 及总 OR 与 X 线 BA 均呈正相关（均 $P < 0.05$），见表 3。

3　讨论

BA 评估是儿童青少年生长发育监测及相关疾病诊断的关键手段。双能 X 线吸收法（DXA）也用于 BA 的测量，相比 X 线可降低辐射剂量，但其空间分辨率有限，难以清晰显示手腕部多块小骨骼的形态细节，限制了其临床推广应用 [5-6]。磁共振成像（MRI）典型特征为分辨率高，能清晰显示骨骺软骨及骨化中心，但其检查费用昂贵，无法在基层医院推广应用[7-8]。X 线检查评估 BA 的可靠性已得到广泛验证，被视为“金标准”，但辐射风险及主观性限制了其在长期随访中的应用。因此，寻求更理想的替代或补充方案是影像科医师亟需解决的问题。

超声检查通过声波成像原理，完全避免电离辐射，相比 X 线检查可安全应用于重复随访场景，这一优势使其在儿童青少年群体中具有不可替代的适用性[9-10]。同时，该技术兼具操作便捷、成本低等诸多优势，在此背景下日益受到临床关注。超声定量评估

表 2　超声测量不同 BA 儿童青少年目标骨 OR 情况

BA（岁）	性别	例数	桡骨 OR	尺骨 OR	股骨内侧髁 OR	总 OR
4 ～ 6	男	5	46.56±5.81	44.10±6.82	51.26±7.15	141.92±2.43
	女	5	48.65±5.23	45.56±6.28	52.20±6.82	146.41±7.34
7 ～ 9	男	8	69.56±5.11	67.58±4.62	72.16±6.49	209.30±9.22
	女	7	70.62±6.03	68.54±3.56	73.53±4.50	212.69±9.62
10 ～ 12	男	9	89.56±7.45	84.63±6.94	92.55±7.28	266.74±10.90
	女	6	90.83±5.19	86.28±6.97	94.48±4.60	271.59±4.03
13 ～ 15	男	4	98.56±8.01	94.18±6.32	102.23±10.46	294.97±22.68
	女	6	100.25±6.84	96.26±5.02	104.26±9.83	300.77±13.27

注：BA 为骨龄，OR 为骨化率

表 3　超声测量 OR 与 X 线 BA 的相关性分析

目标骨	男性		女性	
	r 值	*P* 值	*r* 值	*P* 值
桡骨 OR	0.907	＜ 0.05	0.915	＜ 0.05
尺骨 OR	0.905	＜ 0.05	0.890	＜ 0.05
股骨内侧髁 OR	0.878	＜ 0.05	0.925	＜ 0.05
总 OR	0.933	＜ 0.05	0.938	＜ 0.05

注：BA 为骨龄，OR 为骨化率

BA 的主要优势源于其对骨骼发育过程的精准量化表征 [11-12]。骨骼成熟本质是骨骺软骨向骨组织逐渐转化的连续过程，OR 作为骨化中心与骨骺长径的比值，能够动态反映这一过程的进展程度，避免了 X 线 GP 图谱法依赖主观经验进行阶段划分的局限性[13]。本研究结果显示，男、女童各目标骨 OR 及总 OR 与 X 线 BA 均呈正相关（均 $P < 0.05$），与赵莹等[11]研究结论相呼应，进一步验证了超声定量评估的可靠性。胡海等[14]研究亦显示，高频超声测量双侧桡尺骨 OR 与 X 线 GP 图谱法 BA 相关性高达 0.930 以上。本研究将股骨内侧髁也纳入评估体系，其 OR 与 BA 亦呈高度相关，且男童与女童均是总 OR 与 BA 相关性最高（均 $P < 0.05$），这提示超声检查总 OR 能有效整合不同骨骼的发育信息，减少了单一部位骨骼发育异质性带来的误差，有助于进一步提升评估的准确性。另外，从数据特征来看，相同年龄段女性的 OR 总值略高于男性，符合女性青春期发育通常早于男性的生理规律。并且，13 ～ 15 岁组总 OR 已接近 300%，与骨骼接近完全成熟的生理特征相符。这表明超声 OR 能够精准捕捉骨骼发育的阶段性变化，为 BA 评估提供了客观量化的生物学依据。值得注意的是，男童、女童超声 OR 与 X 线 BA 的相关性相近，这表明该评估方法在不同性别中均具有良好的适用性与一致性，有利于未来建立普适性更强的评估标准。

本研究尚存在一定局限性：（1）样本量较小，且为单中心研究，可能导致选择偏倚。（2）本研究尚未建立分年龄、分性别的超声 OR 正常参考值范围，也未对其诊断界值进行探讨。未来需开展多中心、大样本研究，并建立年龄、分性别的超声 OR 正常参考值范围。

综上所述，超声定量测量桡骨、尺骨及股骨内侧髁 OR 是与 X 线 BA 高度相关的评估方法，为儿童青少年 BA 评估提供了一种安全、有效的补充或替代方案，有良好的临床应用前景。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　过雨佳：酝酿和设计实验，分析/解释数据，起草文章；陆建卫：采集数据，分析/解释数据，统计分析；张露娜：采集数据，统计分析；蔡嘉望：分析/解释数据，对文章的知识性内容作批评性审阅

参　考　文　献

[1] Gerges M, Eng H, Chhina H, et al. Modernization of bone ageassessment: Comparing the accuracy and reliability of anartificial intelligence algorithm and shorthand bone age to Greulich and Pyle[J]. Skeletal Radiol, 2020, 49(9): 1449-1457.

[2] Wan J, Zhao Y, Feng Q Q, et al. Summation of ossification ratios of radius, ulna and femur: A new parameter to evaluate bone age by ultrasound[J]. Ultrasound Med Biol, 2020, 46(7): 1761-1768.

[3] 冯杰，詹娜萍，肖金霞，等.常规超声检测骨龄及鉴别性早熟与乳房过早发育[J].中国医学影像技术，2023，39(11)：1702-1705.

[4] 张莉，陈娜，吴明翠，等.使用骨化率进行超声骨龄评估时左右侧肢体的一致性研究[J].中国医学装备，2025，22(1)：68-71.

[5] 罗才芳，林琴.身材矮小儿童骨龄和双能X线骨密度的特点及其相关性分析[J].影像研究与医学应用，2020，4(22)：47-49.

[6] 曹雪悦，张瑞，王丹，等.数字化 X 线骨龄摄影联合 Tanner 分期对中枢性性早熟女童的诊断价值研究 [J]. 河北医学，2026，32(3)：522-528.

[7] 郑阳力，薛志斌，何丽金. 垂体 MRI 及骨龄评估对中枢性性早熟女童的临床诊断价值[J].医学理论与实践，2024，37(22)：3905-3907.

[8] 黄逸飞，周星旭，袁莉萍，等.超声测量骨龄结合垂体 MRI 特征评估女童中枢性性早熟的效果分析[J].中国 CT 和 MRI 杂志，2025，23(10)：172-174.

[9] 程陈，刘岷，孟繁博，等.超声定量评估骨龄对女童中枢性性早熟的诊断价值[J].中国中西医结合影像学杂志，2024，22(5)：603-606.

[10] 廖贞金，黄浩南，邱群凤，等.探讨性激素、超声及骨龄指数联合检查对女童性早熟的诊断价值[J]. 延边大学医学学报，2026，49(2)：85-87.

[11] 赵莹，洪恺，冯群群，等.常规超声定量评估骨龄[J].中国医学影像技术，2021，37(9)：1405-1409.

[12] 程陈，刘岷，孟繁博，等.超声定量评估骨龄对女童中枢性性早熟的诊断价值[J].中国中西医结合影像学杂志，2024，22(5)：603-606.

[13] Zhao Y, Wan J, Lv P, et al. Bone age evaluated with conventional ultrasound: The inter-side difference[J]. J Ultrasound Med, 2023, 42(6): 1249-1256.

[14] 胡海，王铮，刘小东，等.高频超声测量双侧桡尺骨骨化率与 X 线 GP 图谱法评估儿童骨龄的相关性研究 [J]. 中国现代医药杂志，2025，27(10)：96-100.

收稿日期：2026-03-18

（本文编辑：孙海儿）