



年龄评估在正畸及全科口腔医学中的应用

Age assessment in orthodontics and general dentistry

Christian Kirschneck, Peter Proff

原载 Quintessence Int 2018; 49:313-323. (英文)

付肖依 译 聂琼 审

摘要

在口腔医学中,如何判断年龄及牙齿和骨骼的生长发育阶段非常重要,特别是在评估牙列的发育障碍及进行正畸治疗设计时。此外,口腔医学在法医学领域也很重要,可以根据牙列情况确定年龄。除了人体测量学和形态学方法之外,还有许多生物化学、组织学、放射学和无放射的成像方法可以用来确定一个人或一个病人的实际年龄、牙龄和骨龄。本文旨在综述目前口腔医学中用于年龄评估的可行方法,既可用于法医学领域又可用于治疗诊断目的,并基于目前实验结果批判性评估不同方法的适应证及其价值。

关键词

人体测量学; 实际年龄; 牙龄; 放射影像学; 骨龄

1 引言

一个人的年龄在当今的社会、法律和医学环境中都非常重要。从法律上来讲,一个人的实际年龄对他的民事地位非常重要,比如判断法律协定的效力时。此外,年龄在刑事方面中也同样重要,比如在刑事诉讼中决定是否适用青少年法。在日常生活的很多方面,未成年人都需要特别保护,例如禁止

向未成年人卖酒、限制取得驾照的最低年龄等。在法医学中,年龄评估方法在鉴定事故、自然灾害的罹难者和犯罪受害者中同样发挥着重要作用。

在社会诉讼中,患者的年龄在庇护程序及社会福利的获取中往往至关重要,在法定的国家医疗保险公司提供的医疗福利报销中也极其关键。在德国,除一些特殊情况外,18岁之后的正畸治疗并不包含在德国法定国家医疗保险范围之内。随着全球化的日益发展和移民的增多,越来越多的人的实际年龄无法明确,这往往是由于身份证明的遗失或造假导致。这种情况特别是在发展中国家尤为严重,根据

译者单位 北京大学口腔医院 正畸科
北京市海淀区中关村南大街 22 号 100081

联合国儿童基金会(UNICEF)报道,每两名5岁以下的儿童中只有一名有出生日期的记录。在这种情况下,再加上缺乏可靠的年龄记录文档,口腔法医学在判断法律相关年龄限制(如14、18、21岁)时就起到了非常关键的作用。这种口腔法医学年龄评估法有着悠久的历史,罗马帝国的青少年在第二磨牙萌出后即被认为适合服兵役。

除了实际年龄的评估外,患者的生物学年龄(即骨龄和牙龄)在正畸和全科口腔的诊断和治疗计划中也非常重要。了解患者当前和未来潜在的颌面生长或发育阶段情况,特别是骨、颅颌面结构、牙列的发育,往往决定了正畸治疗的时间、方案选择和局限性。个体的实际年龄、骨龄、牙龄和大体的身体发育不一定是一致的,根据病人的体质可以观察到不同的变化。在很多情况下,与正常发育时间的偏差往往与治疗息息相关。此外,最佳的正畸时机和方式,以及其他干预措施(如骨骼生长发育完成后才能进行外科手术及种植牙植入)往往都取决于儿童的骨骼和牙齿生长发育阶段。如果想在生长发育过程中通过矫形力矫治下颌的骨性畸形(发育不良),则需要充足的下颌剩余生长潜力。骨龄和牙龄影响着治疗的预后和保持。因此,病人骨龄和牙龄的判断在正畸和全科口腔中都起着重要的作用。

基于形态学、人体测量学、医学、生物化学、放射学和无辐射成像技术的很多侵入性及非侵入性方法都可用于从个体的生物学年龄(即骨龄和牙龄)来确定实际年龄。侵入性方法需要取走部分身体组织(如拔牙),由于伦理问题仅用于死者的法医鉴定。而非侵入性方法则在临床实践中大量使用。尽管实际年龄、骨龄、牙龄存在个体差异,但在大多数情况下,这些差异微乎其微。因此,实际年龄往往与生物学年龄非常相近。然而,所有从骨骼和牙齿发育程度判断实际年龄的方法仅仅只是提供一个有效的推测,这一点对口腔诊断和治疗并不太重要,但是在法律诉讼时则需要特别注意。本文综述了口腔领域当前进行年龄评估的方法,并基于现有数据对它们的适应证和意义进行了批判性评估。

2 人体测量学年龄评估

根据德国法医协会的指导原则,人体测量学方法应当始终是年龄评估的第一步,因为它们是无创、无辐射的初始评估,并可以获得用于深度分析解释和验证的重要信息。可用的方法包括人口统计学数据的回顾;影响牙齿和骨骼发育的疾病的病史;身

高、体重和体质指数(BMI)的确定;以及性成熟的外在表现,例如生殖器、阴毛、腋毛、胡须的生长、喉结的形成(男孩)、乳房发育、月经初潮和臀部形成(女孩)。人体测量学方法可以确定的生长和发育障碍包括性早熟、甲状腺功能减退和亢进以及内分泌疾病和一些其他疾病,并能在后续的年龄评估影像学方法和口腔学方法中提供参考,因为上述疾病往往会造成骨龄和牙龄与实际年龄不符。

除了能提供指示和修正的信息之外,人体测量学年龄评估本身其实是相当不可靠、不准确的,这是由于个体之间的巨大差异造成的(遗传因素和外源因素)。不过,由于面部的生长发育高峰期与全身的生长发育高峰期高度相关,连续的身高测量可以提供青春期生长发育高峰期的粗略时间估计,但它不能用于评估剩余生长潜力。

Tanner等学者研究了通过性成熟体征进行年龄评估的方法,也仅仅能确定年龄的大致范围。尽管观察到性成熟体征与牙齿发育有关,但并没有观察到第二性征和骨骼成熟度之间有直接关联。并且性成熟的确定本身变数非常大,男孩的青春期可以提前到9~10岁,也可以延后到14~15岁。此外,种族、社会经济背景和饮食带来的差异并没有被充分考虑进去。有研究表明,青春期的开始时间在印度较早,且骨骼成熟度与BMI有关。虽然存在遗传不确定性,但女孩的月经初潮和男孩青春期的声音变化可以被认为是青春期生长发育高峰已过的一个明确信号。因为相比于其他第二性征的发育而言,这两种情况与骨骼成熟度的相关性变异较小。

3 牙龄评估

牙齿的研究在年龄评估中具有悠久的历史,由于牙齿的无机成分含量很高,因此可以成为人体最具抗性的代表结构。因此,即使在极端情况下,牙齿也可以用于身份识别和年龄评估。此外,牙齿发育与牙齿萌出不同,牙齿发育相对独立于外部因素(如营养)或内分泌影响,以均匀且连续的方式进行着。然而,牙列和牙的生长发育与骨骼生长和性成熟几乎没有相关性。因此,牙齿评估只能在有限的范围内用于预测(颌面)生长,但可以用于补充和详细说明其他方法的成熟度评估。

随着时代的发展,出现了越来越多用于牙龄评估的侵入性和非侵入性方法。侵入性方法基于拔除牙的组织学或生物化学分析(氨基酸外消旋化)。非侵入性方法主要包括牙齿萌出、矿化和相关形态

学—放射学参数的临床放射学评估。此外，还有很多形态学方法，观察随年龄增长牙齿和邻近牙周的结构和外观变化（如牙齿磨损、牙齿颜色、牙周退缩、牙根的半透明性、牙根再吸收、龋）。然而，后面这些方法在可靠性、客观性和精确性上存在局限性，并且在大多数情况下仅适用于成年患者。

推测牙龄的第一提示来源于临床可见的牙齿状态，包括对牙齿萌出情况和顺序的评估，并根据标准推测出近似牙龄。基于对大量患者群体的系统筛查，Röse 第一批发布了通过性别特异性或下颌特异性方法来计算个别牙的萌出时间的算术方法（1909年）。随着时间的推移，这些算法得到了进一步的完善和更新，例如 Janson 对德国南部地区的2648名儿童的系统研究。

由于个体间的差异、牙齿萌出的不连续性（8至10岁之间混合牙列阶段）和对外部因素的强烈依赖性，真实的实际年龄只能通过临床观察来估算。与牙齿萌出相反，牙胚矿化是一个连续的过程，这与牙齿发育相似。出于这个原因，自20世纪40年代以来，牙齿发育的放射学评估（即矿化程度）被人们用于年龄测定。Schour和Massler是最早开发研究牙齿发育阶段分期的一批学者，他们总结了不同牙列中牙齿萌出的时间表，同时还考虑了牙胚矿

化阶段的放射学评估。学者将牙胚矿化分为三个阶段：开始矿化、冠形成和牙根发育完成。在后续几年的研究中也陆续出现了类似的更完善的评估方法。

目前使用最广泛的方法由 Demirjian 等学者在1973年提出。学者们定义了八个矿化阶段：A至H（四个牙冠形成阶段和四个牙根形成阶段；图1和表1），来评估左下（第三）象限的七个恒牙，一



图1 一名7.8岁男性的X线全景片，根据Demirjian评估法，31到37(FDI指示法)有不同的矿化阶段(评分)，分别是：31, G (8.2); 32, G (11.7); 33, E (7.9); 34, D (7.0); 35, D (9.7); 36, G (17.0); 37, D (10.1)。患者总得分71.6，根据Demirjian表格，患者牙龄是8岁，这与患者的实际年龄大致相符，表明患者牙列发育正常。

表1 基于Demirjian等人研究的恒牙矿化分期表(Demirjian法)

矿化分期	影像学表现
A	不论是单根牙还是多根牙，牙隐窝的最上部矿化开始，出现一个或多个倒锥状矿化点，但没有矿化点的融合。
B	矿化点融合形成一个或多个突起，进一步结合形成咬合面。
a	咬合面釉质形成完毕，并向牙颈部聚合。
C	早期牙本质沉积。
a	髓室殆面出现弧形线条轮廓。
b	冠部发育完成至釉牙骨质界。
D	在单根牙中，髓室上界出现明显的、颈部凹陷的弧形线条轮廓。髓角处呈伞尖状。在磨牙中，髓室为梯形。
a	牙根开始形成，表现为冠向根方的针状延伸。
E	单根牙：髓室壁形成直线线条，在髓角处反折，髓角较前一阶段更大。
a	磨牙：根分叉形成，出现矿化点或呈新月形。
b	单根牙：牙根长度比冠高度短。
a	磨牙：牙根长度比冠高度短。
F	单根牙：髓腔壁或多或少形成等腰三角形，尖端呈漏斗状。
a	磨牙：根分叉的矿化进一步向根尖方向发展，形成根部独特的外形和漏斗状的末端。
b	单根牙：根长和冠高相等或更长。
a	磨牙：根长和冠高相等或更长。
G	根管壁平行，根尖依然部分开放。（磨牙以远中根为准）
H	根尖完全闭合。
a	牙根及根尖周有均匀的牙周膜间隙。

直到第二磨牙。在 A 到 H 的每个阶段都有牙特异性和性别特异性的评分，7 颗牙的评分总和将得到一个特定的年龄，该评分标准基于作者统计的法国-加拿大人群（1482 名女孩和 1446 名男孩）。虽然也有不同学者开发出更多基于牙胚矿化的年龄评估方法，但 Demirjian 等学者的方法在几篇比较可靠性的研究中被证明可靠性较高。然而，大多数研究都认为牙龄只能预测 95% 人口、偏差在 2 年以下的实际年龄。牙龄与实际年龄有 2 岁的偏差通常被认为是正畸和全科口腔的临床诊断中的“正常”牙齿发育，而较大的差异则被认为是牙齿发育迟缓或过快。

由于牙齿矿化和萌出时间取决于所讨论的人群，并且在几十年内可能有很大差异，Demirjian 等学者的原始标准在几项后续研究中得到了改进，得到了个性化的不同现如今人群的数据。为了进行 14 岁以上人群的年龄评估，Demirjian 等学者的 A 到 H 矿化阶段进一步被应用于第三磨牙。第三磨牙的根矿化通常在 15 ~ 16 岁开始，在 20 ~ 21 岁之前仍未完成。基于第三磨牙矿化程度的年龄评估的精确性和可靠性被证实是可靠的。然而，第三磨牙的矿化通常以非线性方式进行，可以观察到明显的个体间和群体特异性变化。

4 骨龄评估

4.1 手腕骨片年龄评估

基于手腕骨前后位片的年龄评估广泛应用于儿童，是最可靠、最常用的评价 17 岁以下女孩和 18 岁以下男孩的骨龄和骨成熟度的方法，并且可以大致评估骨的生长潜能。因此，手腕骨片常作为正畸诊断的一部分。将骨骺板的骨化状态、20 块手骨的形状和大小与参考标准进行比较，可以评估骨骼的成熟度和剩余生长潜能。这些研究结果被许多学者以图谱法形式发表，例如 Greulich 和 Pylez (GP, 20 世纪 30 年代，性别特异性，最新版本 1959 年，标准差 0.6~1.1 年)、Tanner 和 Whitehouse (TW2, 20 世纪 70 年代)，以及近期的 Gilsanz 和 Ratib (2005)、Thiemann (2006)。相应的，患者的骨龄可以由明确定义的手腕骨片成熟程度来确定（图 2），例如 Björk 的研究 (1972) 以及 Grave 和 Brown 的进一步研究 (1976) (图 3 和表 2)。研究表明，图谱法并不差于分析单个骨成熟阶段的方法，且更省时。TW2 图谱法在精确度和可重复性上优于 GP 图谱法，但也更复杂，更耗时。

用手腕骨片评估年龄时，特别需要注意到各年



图 2 一名 11.8 岁的女性患者手腕骨片，位于 $MP3_{cap}$ 期 (Björk、Grave 和 Brown 分期法)，刚过生长发育高峰期。中指的中节指骨骨骺形成骺帽，推测年龄在 12.4 ± 1.2 岁，与实际年龄大致相符，认为患者骨骼发育正常

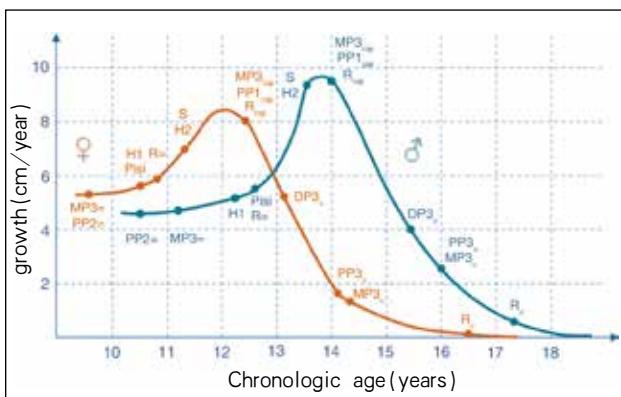


图 3 基于 Björk、Grave 和 Brown 研究的手腕骨成熟度生长曲线

表2 基于Björk、Grave和Brown研究的手腕骨成熟度分期法

分期	影像学表现	实际年龄(平均值±标准差)	
		男性	女性
1 PP2=	食指近节指骨骨骺与骨干等宽	10.5±1.2	9.6±0.9
2 MP3=	食指中节指骨骨骺与骨干等宽	11.2±1.3	9.7±1.0
H1	钩骨钩突的早期骨化	12.2±1.1	10.6±1.4
3 Pisi	豌豆骨的骨化	12.6±1.2	10.5±1.1
R=	桡骨骨骺与骨干等宽	12.6±1.2	10.8±1.1
4 S	拇指籽骨的骨化	13.5±0.9	11.3±1.3
H2	钩骨钩突的进一步骨化	13.6±0.9	11.3±1.1
MP3 _{cap}	中指的中节指骨骨骺形成骺帽	14.0±0.8	12.4±1.2
5 PP1 _{cap}	拇指的近节指骨骨骺形成骺帽	14.0±0.7	12.3±1.1
R _{cap}	桡骨骨骺形成骺帽	14.0±0.8	12.4±1.1
6 DP3 _u	中指的远节指骨骨骺线骨化	15.4±0.7	13.1±1.0
7 PP3 _u	中指的近节指骨骨骺线骨化	16.0±0.9	14.1±0.9
8 MP3 _u	中指的中节指骨骨骺线骨化	16.0±0.9	14.3±1.1
9 R _u	桡骨骨骺线骨化	17.3±0.7	16.5±1.2

表3 基于Baccetti等人研究的颈椎骨龄分期法

分期	影像学表现	生长发育
CS1	C2-C4椎体底部平坦, C3和C4呈梯形。	生长发育高峰在2年后出现
CS2	C2椎体底部出现凹陷(>1mm), C3和C4呈梯形。	生长发育高峰在1年后出现
CS3	C2和C3椎体底部出现凹陷, C3和C4呈梯形或横向矩形。	处于生长发育高峰期
CS4	C2、C3、C4椎体底部出现凹陷, C3和C4呈横向矩形。	生长发育高峰期出现于该期前的1-2年
CS5	C2、C3、C4椎体底部出现凹陷, C3和C4至少有一个呈正方形。如果另一个椎体不是正方形, 则为横向矩形。	生长发育高峰至少在此1年前结束
CS6	C2、C3、C4椎体底部出现凹陷, C3和C4至少有一个呈纵向矩形。如果另一个椎体不是纵向矩形, 则为正方形。	生长发育高峰期至少在此2年前结束

龄组的骨化程度和骨骼发育是和社会经济状况、饮食密切相关的。因此, 在社会经济状况不佳的人群中, 发育相对滞后, 实际年龄可能被低估。此外, 相比于50~90年前, 也就是大部分标准建立的时候, 如今人们的骨成熟时间更早。因此, Gilsanz和Ratib以及Thiemann建立了更现代化的标准。现在, 女孩平均在15~16岁达到骨成熟, 男孩平均在16~17岁达到骨成熟, 这与20世纪50年代晚期发布的最新的GP图谱法相差2~3年。然而, 以往研究中的标准影像片并没有考虑到种族的差异。因此, 现有标准可能并不适用于多种族人群。

不过种族对骨龄的影响尚有争议。手腕骨片年龄评估法通常有2年的误差。实际操作中的准确性是和年龄相关的, 瑞典的一项研究表明, 0~2岁婴幼儿有0.5年的误差, 2~9岁儿童有1年误差, 9~18岁青少年有2年误差。特别是超过14~16岁之后, 手腕骨片的年龄评估的可靠性是有限的, 因为这一年龄之后发生的腕骨变化不能明确定义和分型。

由于有额外的放射线照射, 手腕骨片的适应证必须严格控制在对患者能带来治疗益处时。因此, 只有在以下两条均满足的前提下才会拍摄手腕骨片用于医学诊断目的:

- 需要了解现在的生长状况，特别是是否处于生长高峰期和生长结束期，这是正确制定治疗计划的先决条件。

- 在其他低风险方法中，无法准确得到上一信息。

在正畸治疗计划中，了解当前的生长情况在以下情况中尤为重要：

- 有骨骼畸形和咬合问题，需要利用生长发育过程加以纠正，需要骨骼进一步生长。（比如远中错牙、中度偏颌、骨性深覆牙）

- 骨骼生长对正畸治疗不利的病例（比如近中错牙、显著的骨性开牙、种植修复、正颌手术）

- 在治疗后的保持阶段，生长发育可能对治疗结果的稳定性产生不利影响。（特别是具有高生长发育潜能的病例，例如小下颌和骨性开牙）

手腕骨片的有效剂量是从 0.066–0.17 μ Sv，与年龄有关。这种辐射暴露相当于在自然本底辐射下暴露约 20min，或跨大西洋飞行 2min。因此，拍摄手腕骨片带来的损害可以说是非常小的。由于手腕骨片年龄评估的高可靠性，目前学者们仍在继续努力开发新的无辐射方法来对手部骨结构进行评估，比如超声波技术（超声、BonAge、BeamMed）或核磁共振成像技术（MRI）。然而，这些方法还不能达到放射影像片的精度，因此还不能作为推荐的替代方法，但仍是未来可以期待的一个方向。

4.2 头颅侧位片颈椎骨龄评估

为了避免额外拍摄手腕骨片，正畸医生开始考虑利用正畸诊断本就需要拍摄的 X 线片来进行骨龄和骨成熟度评估，如头颅侧位片。Todd 和 Pyle 是首次发现颈椎骨的大小和形状与骨成熟度有关的学者。1972 年，Lamparski 利用这一现象研发了一种通过头颅侧位片上颈椎骨的成熟程度来推测骨龄的办法，可作为正畸基础诊断记录的一部分，与经典的手腕骨龄推测方法具有高相关性。他定义了六个颈椎成熟阶段（CVS1–6），涵盖了颈椎骨 C2 到 C6，其中 CVS1–3 期在生长发育高峰期之前，CVS4–6 在生长发育高峰期之后。

在后续的几年中，Lamparski 的方法多次被修改和简化，其中包括 Franchi 等学者。他们在 2000 年发布了“颈椎骨成熟法”（cervical–vertebral–maturation method, CVW），将颈椎骨的评估限定在了 C2、C3 和 C4 上。这种方法使用非常广泛，

即使患者使用甲状腺防护罩来减少辐射暴露，这三个椎骨依然能在 X 线片上显影。2005 年，Baccetti 等学者进一步改进和验证了 CVW 法。他们根据密歇根大学的中小学生生长发育研究，定义了 6 个颈椎成熟阶段（CS1–6）。CS1 期和 CS2 期在生长发育高峰期之前，CS5 期和 CS6 期在生长发育高峰期之后，而 95% 的生长发育高峰期发生在 CS3 和 CS4 期（图 4）。

目前认为，颈椎骨成熟法有较大的评定者内部和评定者间的差异性，不如手腕骨片法准确，且与手腕骨片判断的骨成熟度的相关性仅为低到中度。因此，颈椎骨龄法只能用于生长潜力的大概估计，不适用于需要绝对准确地判断当前生长状况的病例中。在临床实践中，只有局限于上四颈椎的评估是可用的，因为这种方法允许患者使用甲状腺保护罩来减少辐射暴露。甲状腺具有高放射敏感性，而手部组织的放射敏感性较低。不使用甲状腺保护罩拍摄一直到 C6 的所有颈椎时，照射侧位片的累计有效剂量（1.5x）带来的潜在危害比单独拍摄手腕骨片的危害更大。

4.3 基于锁骨、髂骨和股骨头骨化的年龄评估

锁骨的年龄评估与手腕骨片的分析类似，但由



图 4 一个 13.9 岁女性患者的头颅侧位片，根据 Baccetti 颈椎骨龄分期法处于 CS4 期。病人已经过了生长发育高峰期，大概年龄在 12 岁左右，有 1–2 年的上下波动，由此可以大概估测实际年龄

于锁骨在全身骨骼中最后骨化，因此锁骨的影像学年龄评估往往应用于更高的年龄中。该方法主要是在13~22岁、16~26岁、20~27岁时观察骨骼内侧核的骨化和骺板的部分或完全融合。然而，这种年龄评估方法并不能用于正畸和全科口腔的诊断替代方法，因为它并不能确定生长发育高峰期，但非常适合18~22岁生长末期患者的法医年龄评估。此外，这种方法有较大的个体间差异性，拍摄的胸片或薄层计算机断层摄影的额外照射量比传统的手腕骨片要高得多。除了锁骨，还有髂骨（髂骨嵴的成熟，Risser征，判断12~16岁）、股骨头的放射学检查也可以用来判断骨龄。但类似的问题依然存在，比如对放射线高敏感性的生殖腺、至今仍缺乏统一标准、缺乏精确的超声方法（如髋部超声）。

5 结论

目前，没有一种方法可以通过生物学年龄（骨龄和牙龄）来准确预测实际年龄。因此，在法医学上鉴定一个人的实际年龄时，应结合人体测量学、骨龄、牙龄分析方法，尽可能准确地估计实际年龄，但生物学年龄确实仍存在个体差异性。Gelbrich等学者通过结合手腕骨龄和第三磨牙矿化的牙龄判

断，可以减小年龄评估的不精确性，将原本的标准差 ± 0.97 年（手腕骨龄）和 ± 1.35 年（第三磨牙牙龄）降至 ± 0.79 年。

人体测量学年龄评估法具有重要的参考意义，且没有放射线暴露，在应用上应当优先于其他方法。在牙齿发育障碍的诊断中，基于牙齿萌出和矿化的临床放射性牙龄诊断方法是最适用于临床的，通常是利用病人现有的全景X线片来进行判断，没有额外的放射暴露。

如果出于诊断和治疗的目的，医生作出正确的治疗计划的先决条件是必须了解患者现在的生长发育状况，特别是是否处于生长发育高峰或生长结束期，此时手腕骨片就是判断骨成熟度和年龄的最佳选择，因为手腕骨片放射暴露小，诊断效能高。锁骨、髂骨和股骨头年龄评估法仅应用于法医学，它们的适用年龄范围更高，放射暴露更大。尽管侧位片上颈椎骨龄判断法的可靠性较低，但这种方法在常规正畸诊断中却更常用。因为在不需要准确判断患者现有生长发育状况的病例中，它可以大概估计患者的生长发育潜能。在拍摄侧位片时，不应当为了年龄评估而取掉患者的甲状腺保护罩，应当尽量减少放射线暴露。