

综述

基于牙齿不同发育阶段的年龄推断的研究进展

沈诗慧, 陶 疆

上海交通大学医学院附属第九人民医院·口腔医学院口腔综合科, 国家口腔疾病临床医学研究中心, 上海市口腔医学重点实验室, 上海市口腔医学研究所, 上海 200011

[摘要] 年龄推断在多个领域都发挥着重要作用, 例如法医学和运动医学。与骨骼成熟度相比, 牙齿的发育情况受环境的影响较小, 牙龄与不同生长阶段的发育及矿化相关, 因此牙龄对于推断个体的实际年龄至关重要。文章回顾了牙龄推断年龄的多种方法, 如形态学、生物化学和放射学方法等, 并就其适用范围和局限性作一综述。

[关键词] 牙龄; 年龄推断; 法医学

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2020.11.019 **[中图分类号]** R78 **[文献标志码]** A

Research progress of age estimation based on different developmental stages of teeth

SHEN Shi-hui, TAO Jiang

Department of General Dentistry, Shanghai Ninth People's Hospital, College of Stomatology, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine; National Clinical Research Center for Oral Diseases; Shanghai Key Laboratory of Stomatology & Shanghai Research Institute of Stomatology, Shanghai 200011, China

[Abstract] Age estimation plays an important role in many fields, such as forensic science and sports medicine. Compared with skeletal maturity, the development of teeth is less affected by the environment, and dental age is related to the development and mineralization of different growth stages. Therefore, the dental age is crucial for individual's age estimation. The paper reviews several methods of dental age estimation, such as those of morphology, biochemistry and radiology, as well as the application, and reviews scope and limitations of the methods.

[Key words] dental age; age estimation; forensic science

通过牙齿的形态学和放射影像学推断年龄, 在临床医学和法医学中被广泛应用。根据我国刑法, 年龄是衡量刑罚的关键因素之一^[1]。在法医学中, 牙齿年龄 (简称牙龄) 可用于帮助识别受害者。此外, 牙龄还可用于测试运动员是否满足参赛年龄^[2-3]。在收养法方面, 牙龄适用于核实儿童出生日期^[4-5]。在临床医学上, 牙龄推断对于正畸医师制定治疗方案非常关键, 颌面部生长发育与不同类型的错颌畸形相关^[6-7]。在人类学和生物考古学中, 牙龄可以提供有关过去人口的大量信息^[8]。

现今可以通过骨骼成熟度或牙齿发育情况进行年龄推断^[9-10]。然而, 如果个体在其生长和发育期间曾经历了慢性疾病或营养缺乏, 骨骼推断则可能会出现偏差。研究

表明, 与骨骼成熟度相比, 牙齿的发育情况受环境的影响较小^[11-12], 这可能与牙齿发育受严格的遗传控制有关^[13-14]。通过牙龄进行年龄推断的方法来源于英格兰^[15]。在1837年牙医 Edwin Saunders 第一次向英国议会提交题为“牙龄测试”的手册, 成为了第一位提出用牙齿相关信息进行年龄推断的专家。本文回顾了目前广泛使用的牙龄推断年龄的方法, 如形态学方法、影像学方法和实验室检测方法, 并总结了这些方法的优缺点和适用范围。

1 形态学方法

形态学方法主要针对离体牙^[8], 需要制备离体牙后在

[基金项目] 上海交通大学医工交叉基金 (YG2019ZDA07)。

[作者简介] 沈诗慧 (1995—), 女, 硕士生; 电子信箱: pourquoishen@163.com。

[通信作者] 陶 疆, 电子信箱: doctor_taojiang@126.com。

[Funding Information] Medical Engineering Cross Foundation of Shanghai Jiao Tong University (YG2019ZDA07)。

[Corresponding Author] TAO Jiang, E-mail: doctor_taojiang@126.com。



显微镜下观察。但是, 由于道德、宗教、文化等原因, 有时通过离体牙推断年龄不能被接受; 且形态学方法适用的范围很窄, 误差为 3 ~ 5 年^[16]。

Gustafson 法描述了牙齿组织中发生的 6 个增龄性变化, 分别为由于咀嚼导致的切端或咬合面磨损、牙周炎、继发性牙本质、继发性牙骨质、根吸收和根的透明度; 将上述 6 点变化各划分为 4 个阶段并打分, 分数总和可通过公式转换成牙龄^[17]。Dalitz^[18] 改进了 Gustafson 法, 将牙齿的四阶段划分改为五阶段划分, 由此略微提高了推断的准确度。该研究表明, 根吸收和继发性牙骨质对年龄推断的作用可以忽略不计, 并根据 12 颗前牙的评分得出新的年龄计算公式。该方法的缺点是没有考虑到前磨牙和磨牙, 后者在咀嚼过程中起到显著作用。Bang 等^[19] 发现, 根部牙本质从第 30 年起变得透明, 并随着年龄的增大而向冠部发展, 据此即可推断年龄。Johanson^[20] 将牙齿的增龄性变化分为 7 个不同阶段, 对根部透明度作了更详细的研究。Maples^[21] 建议仅使用继发性牙本质形成和根透明度作为年龄推断的影响因素, 以使计算更简单和准确。Solheim^[22] 使用了 Gustafson 推荐的 5 项变化 (不含根吸收), 并增加了另外 3 个新的影响因素: 牙表面粗糙度、颜色和患者性别。

2 影像学方法

对于法医学而言, 用放射影像学方法进行年龄推断是必不可少的, 因为其操作便捷, 为非侵入方法, 且具有可重复性, 并适用于活着或死亡的个体。影像学方法将人群分为 2 个阶段 (儿童和青少年、成人), 提出不同的年龄推断方法^[8]。

2.1 儿童和青少年

Schour 等^[23] 研究了乳牙和恒牙的发育, 描述了从 4 个月到 21 岁的 21 个阶段, 并制作了发育图表。Nolla^[24] 评估了上下颌恒牙矿化的 10 个阶段并打分, 然后将总分与表格进行比较推算年龄。这种方法的优点是可以应用于无论是否有第三磨牙的个体, 并且对女童和男童也可分开处理。

Demirjian 法是如今使用最广泛的一种方法, 通过牙齿的成熟和钙化情况将牙齿分为 A ~ H 共 8 个阶段^[25], 左下颌 7 颗恒牙的分数总和分别对应男女不同年龄。Demirjian 法可重复性好、操作性强, 但也存在如下缺点^[7, 14]。首先, 牙齿的发育阶段由 Demirjian 描述的成熟度指数决

定, 而不是测量长度, 因此主观判断可能导致偏差; 其次, Demirjian 法将成熟度得分转换为牙龄所涉及的步骤相当复杂, 对于临床工作而言颇为耗时。

研究^[26] 显示, 21 世纪初的儿童牙齿发育与生活与 30 多年前的儿童相比更早成熟, 而且生长发育速度更快。这促使 Willems 等^[27] 修改 Demirjian 法, 并制定新的分数表格, 可以直接将 A ~ H 8 个发育阶段转换为牙龄, 从而避免了 Demirjian 法的繁琐步骤。这种方法在 Maber 等^[17] 的研究中得到验证, 结果显示 Willems 法的推断准确度高于 Demirjian 法。虽然两者的临床应用已被广泛报道^[28-32], 但 Demirjian 法和 Willems 法均基于欧洲地区的样本^[33-34]。种族和各种生活习惯的不同, 使得牙本质矿化和牙齿发育存在区域差异。2018 年, 一项关于 Demirjian 法和 Willems 法在中国东部地区应用的研究^[35] 揭示了该地区儿童实际年龄与牙龄之间差异的平均绝对误差, 男童的平均绝对误差为 1.31 岁 (Demirjian 法) 和 1.29 岁 (Willems 法), 女童的平均绝对误差为 1.35 岁 (Demirjian 法) 和 1.43 岁 (Willems 法)。

Cameriere 等^[36] 研究的一种方法被广泛认可和接受。该方法测量并记录左下颌 7 颗恒牙 (智齿除外) 的数据, 包括根尖孔完全闭合的牙数量、开放的根尖孔顶点内侧之间的距离。考虑到全景片中可能存在的放大误差和拍摄角度差异, 将测量值除以牙齿的长度得到标准化的测量值, 通过左下颌 7 颗恒牙的标准化测量值的总和以及根尖孔完全闭合的牙齿数量评估牙齿成熟度, 最后得出计算年龄的公式。

Demirjian 法的阶段划分不可避免地存在一定的主观性和经验性, 个人误差比较大; 运用计算机辅助的 Cameriere 法通过客观的距离测量则可减少这种误差。

2.2 成人

评估牙齿的体积和第三磨牙的发育是推断成人年龄的 2 种最常用方法^[37]。Harris 等^[38] 根据第三磨牙根发育的 5 个阶段及平均长度来推断年龄。Vandervoort 等^[39] 则使用全景片评估第三磨牙近中根的发育从而推断年龄。恒牙列的发育在 17 ~ 21 岁时随着第三磨牙的萌出而完成, 之后进行年龄推断将变得困难。

近年来, 有学者提出根据继发性牙本质的形成和牙髓腔体积随着老龄化而减少这 2 个特点进行年龄推断。Kvaal 等^[40] 的牙-牙髓比例法中, 计算 6 个下颌和上颌牙齿的牙-牙髓长度比, 通过年龄测定公式推算年龄。2004 年, Vandervoort 等^[39] 首次使用 X 射线微计算机断层扫

描(micro-CT)测量了离体牙的牙髓腔与牙体体积比,证明牙髓腔/牙体体积比与生物学年龄存在较高的关联性。但micro-CT只能对离体牙进行测量,应用于活体个体时则十分受限,而锥形束计算机断层摄影术(cone beam computed tomography, CBCT)的出现及其在口腔领域的应用却很好地解决了这一问题。2006年, Yang等^[41]首次将CBCT应用于牙齿推断年龄中。通过对牙齿进行三维重建后,分别测量并计算牙髓腔和牙体的体积及比率,分析结果显示牙髓腔/牙体体积比与生物学年龄存在一定相关性,并推导出回归方程。虽然目前的研究仅限于试验性研究,但该方法利用CBCT以非侵入性方式推断年龄,为活体年龄推断带来了新的希望。

3 实验室检测方法

除了上述2种常用的方法,实验室检测方法如分析氨基酸外消旋化水平^[42-44]也可用于年龄推断。L-天冬氨酸易转化为D-天冬氨酸,因此可以根据牙釉质、牙本质和牙骨质中升高的D-天冬氨酸的浓度预估年龄。2007—2010年,多项研究^[45-48]表明龋病、酸性环境不会对牙釉质内天冬氨酸外消旋化程度造成影响,不同牙齿牙釉质天门冬氨酸外消旋化程度不同,与牙位和口腔内温度无关。年龄估

算公式^[43]为:

$$\ln \frac{1+[D]/[L]}{1-[D]/[L]} = 2KT + C$$

其中,[L]和[D]为L型和D型天冬氨酸的浓度,K为氨基酸外消旋反应速率,T为牙齿年龄,C为常数项。

由于利用牙齿中氨基酸外消旋化水平推断年龄的方法平均误差为 ± 4 年,且需要离体牙,目前仅适用于法医学的死亡个体^[43]。

4 结语

通过牙齿的影像学检查(主要为全景片)进行年龄推断是目前广泛使用和得到认可的方法,而利用CBCT进行年龄推断尚处于初探小样本研究阶段。尽管目前已有大量的研究根据牙齿的发育特点提出了不同的方法,但尚无一种方法具有普适性。这使得推断种族、地域未明确的个体年龄十分困难,其准确度也有待商榷。在上述各种方法中,究竟何种方法最准确,仍缺乏相关统计数据验证。因此,或可通过综合运用多种方法,提高推断年龄的准确度。目前,国内利用牙齿的影像学检查推断年龄处于起步阶段,且我国幅员广阔、人口众多,特别是民族较多,尚需进一步寻找适合的方法,如考虑建立不同民族、地域的人群年龄推断方程等。

参·考·文·献

- [1] 黄文琳. 关于对中国最低刑事年龄的调查与研究[J]. 科研, 2015(6): 114.
- [2] Kundert AML, Nikolaidis PT, Di Gangi S, et al. Changes in jumping and throwing performances in age-group athletes competing in the European Masters Athletics Championships between 1978 and 2017[J]. Int J Environ Res Public Health, 2019, 16(7): E1200.
- [3] Zingg MA, Knechtle B, Rust CA, et al. Analysis of participation and performance in athletes by age group in ultramarathons of more than 200 km in length[J]. Int J Gen Med, 2013, 6: 209-220.
- [4] 李喆. 我国“收养人”年龄限制之刍议[J]. 文化学刊, 2008(4): 115-120.
- [5] Reinoso M, Juffer F, Tieman W. Children's and parents' thoughts and feelings about adoption, birth culture identity and discrimination in families with internationally adopted children[J]. Child Fam Soc Work, 2013, 18(3): 264-274.
- [6] Bagherian A, Sadeghi M. Assessment of dental maturity of children aged 3.5 to 13.5 years using the Demirjian method in an Iranian population[J]. J Oral Sci, 2011, 53(1): 37-42.
- [7] Kumaresan R, Cugati N, Chandrasekaran B, et al. Reliability and validity of five radiographic dental-age estimation methods in a population of Malaysian children[J]. J Invest Clin Dent, 2016, 7(1): 102-109.
- [8] Willems G. A review of the most commonly used dental age estimation techniques[J]. J Forensic Odontostomatol, 2001, 19(1): 9-17.
- [9] Franklin D. Forensic age estimation in human skeletal remains: current concepts and future directions[J]. Leg Med (Tokyo), 2010, 12(1): 1-7.
- [10] Hashim HA, Mansoor H, Mohamed MHH. Assessment of skeletal age using hand-wrist radiographs following Bjork system[J]. J Int Soc Prev Community Dent, 2018, 8(6): 482-487.
- [11] Cardoso HF. Environmental effects on skeletal *versus* dental development: using a documented subadult skeletal sample to test a basic assumption in human osteological research[J]. Am J Phys Anthropol, 2007, 132(2): 223-233.
- [12] Conceicao BL, Cardoso HF. Environmental effects on skeletal *versus* dental development II: further testing of a basic assumption in human osteological research[J]. Am J Phys Anthropol, 2011, 144(3): 463-470.
- [13] Laurencin D, Wong A, Chrzanowski W, et al. Probing the calcium and sodium local environment in bones and teeth using multinuclear solid state NMR and X-ray absorption spectroscopy[J]. Phys Chem Chem Phys, 2010, 12(5): 1081-1091.
- [14] Jelliffe EF, Jelliffe DB. Deciduous dental eruption, nutrition and age assessment[J]. J Trop Pediatr Environ Child Health, 1973, 19(2): 193-248.
- [15] Burns KR, Maples WR. Estimation of age from individual adult teeth[J]. J Forensic Sci, 1976, 21(2): 343-356.
- [16] Kim YK, Kho HS, Lee KH. Age estimation by occlusal tooth wear[J]. J Forensic Sci, 2000, 45(2): 303-309.
- [17] Maber M, Liversidge HM, Hector MP. Accuracy of age estimation of radiographic methods using developing teeth[J]. Forensic Sci Int, 2006, 159(Suppl 1): S68-S73.
- [18] Dalitz GD. Age determination of adult human remains by teeth examination[J]. J Forensic Sci Soc, 1962, 3(1): 11-21.
- [19] Bang G, Ramm E. Determination of age in humans from root dentin transparency[J]. Acta Odontol Scand, 1970, 28(1): 3-35.
- [20] Johanson G. Age determination from teeth[J]. Odontol Revy, 1971, 22: 121-126.
- [21] Maples WR. An improved technique using dental histology for estimation of adult age[J]. J Forensic Sci, 1978, 23(4): 764-770.
- [22] Solheim T. A new method for dental age estimation in adults[J]. Forensic Sci Int, 1993, 59(2): 137-147.
- [23] Schour I, Massler M. Studies in tooth development: the growth pattern of human teeth[J]. J Am Dent Assoc, 1940, 27(11): 1778-1793.
- [24] Nolla CM. The development of the permanent teeth[J]. J Dent Child, 1960,

- 27(4): 254-266.
- [25] Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment[J]. *Hum Biol*, 1973, 45(2): 211-227.
- [26] Kaygisiz E, Uzuner FD, Yeniay A, et al. Secular trend in the maturation of permanent teeth in a sample of Turkish children over the past 30 years[J]. *Forensic Sci Int*, 2016, 259: 155-160.
- [27] Willems G, Van Olmen A, Spiessens B, et al. Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited[J]. *J Forensic Sci*, 2001, 46(4): 893-895.
- [28] Abesi F, Haghaniyar S, Sajadi P, et al. Assessment of dental maturity of children aged 7-15 years using demirjian method in a selected Iranian population[J]. *J Dent (Shiraz)*, 2013, 14(4): 165-169.
- [29] El-Bakary AA, Hammad SM, Mohammed F. Dental age estimation in Egyptian children, comparison between two methods[J]. *J Forensic Leg Med*, 2010, 17(7): 363-367.
- [30] Apaydin BK, Yasar F. Accuracy of the demirjian, willems and cameriere methods of estimating dental age on Turkish children[J]. *Niger J Clin Pract*, 2018, 21(3): 257-263.
- [31] Esan TA, Schepartz LA. Accuracy of the Demirjian and Willems methods of age estimation in a Black Southern African population[J]. *Leg Med (Tokyo)*, 2018, 31: 82-89.
- [32] Sobieska E, Fester A, Nieborak M, et al. Assessment of the dental age of children in the Polish population with comparison of the Demirjian and the Willems methods[J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24: 8315-8321.
- [33] Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment[J]. *Hum Biol*, 1973, 45(2): 211-227.
- [34] Galić I, Vodačić M, Cameriere R, et al. Accuracy of Cameriere, Haavikko, and Willems radiographic methods on age estimation on Bosnian-Herzegovian children age groups 6-13[J]. *Int J Legal Med*, 2011, 125(2): 315-321.
- [35] Wang J, Bai XB, Wang MC, et al. Applicability and accuracy of Demirjian and Willems methods in a population of Eastern Chinese subadults[J]. *Forensic Sci Int*, 2018, 292: 90-96.
- [36] Cameriere R, De Angelis D, Ferrante L, et al. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth: a European formula[J]. *Int J Legal Med*, 2007, 121(6): 449-453.
- [37] Rösing FW, Kvaal SI. Dental age in adults: a review of estimation methods[M]// Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M. *Dental anthropology*. Vienna: Springer Vienna, 1998: 443-468.
- [38] Harris MJ, Nortjé CJ. The mesial root of the third mandibular molar. A possible indicator of age[J]. *J Forensic Odontostomatol*, 1984, 2(2): 39-43.
- [39] Vandevoort FM, Bergmans L, van Cleynenbreugel J, et al. Age calculation using X-ray microfocus computed tomographical scanning of teeth: a pilot study[J]. *J Forensic Sci*, 2004, 49(4): 787-790.
- [40] Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, et al. Age estimation of adults from dental radiographs[J]. *Forensic Sci Int*, 1995, 74(3): 175-185.
- [41] Yang F, Jacobs R, Willems G. Dental age estimation through volume matching of teeth imaged by cone-beam CT[J]. *Forensic Sci Int*, 2006, 159(Suppl 1): S78-S83.
- [42] Griffin RC, Chamberlain AT, Hotz G, et al. Age estimation of archaeological remains using amino acid racemization in dental enamel: a comparison of morphological, biochemical, and known ages-at-death[J]. *Am J Phys Anthropol*, 2009, 140(2): 244-252.
- [43] Ogino T, Ogino H, Nagy B. Application of aspartic acid racemization to forensic odontology: post mortem designation of age at death[J]. *Forensic Sci Int*, 1985, 29(3/4): 259-267.
- [44] Ohtani S, Ohhira H, Watanabe A, et al. Estimation of age from teeth by amino acid racemization: influence of fixative[J]. *J Forensic Sci*, 1997, 42(1): 137-139.
- [45] Griffin RC, Penkman KE, Moody H, et al. The impact of random natural variability on aspartic acid racemization ratios in enamel from different types of human teeth[J]. *Forensic Sci Int*, 2010, 200(1/2/3): 148-152.
- [46] Griffin RC, Moody H, Penkman KE, et al. The application of amino acid racemization in the acid soluble fraction of enamel to the estimation of the age of human teeth[J]. *Forensic Sci Int*, 2008, 175(1): 11-16.
- [47] Griffin RC, Chamberlain AT, Hotz G, et al. Age estimation of archaeological remains using amino acid racemization in dental enamel: a comparison of morphological, biochemical, and known ages-at-death[J]. *Am J Phys Anthropol*, 2009, 140(2): 244-252.
- [48] Alkass K, Buchholz BA, Ohtani S, et al. Age estimation in forensic sciences: application of combined aspartic acid racemization and radiocarbon analysis[J]. *Mol Cell Proteomics*, 2010, 9(5): 1022-1030.

[收稿日期] 2019-10-30

[本文编辑] 吴 洋