

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202423429

· 鼻-鼻窦疾病专栏 ·

三维 CT 影像学分析额窦的发育规律

李雨琦¹, 杨雨濛², 孔江维¹, 周威邦³, 刘小涵⁴, 侯赞⁴, 张小兵⁴

(1. 兰州大学第一临床医学院, 甘肃 兰州 730030; 2. 北京航天总医院, 北京 100076; 3. 宁波大学附属人民医院耳鼻咽喉头颈外科, 浙江 宁波 315000; 4. 兰州大学第一医院耳鼻咽喉头颈外科, 甘肃 兰州 730030)

摘要: **目的** 通过研究汉族人群正常额窦的 CT 影像, 分析左右额窦发育与年龄间的关系。**方法** 回顾性分析 285 例 1~25 岁患者的 CT 资料, 通过 Mimics 软件进行双侧额窦的三维重建, 观察额窦气化发育的时间, 并测量发育额窦的高度、宽度、深度及体积等参数, 对数据统计分析。**结果** 额窦气化发育最早在 2 岁儿童中可以观察到, 其大小随着年龄增加而增大, 在 4~8 岁和 10~14 岁时有激增期, 17 岁以后发育成型; 左侧额窦有发育优势; 男性额窦大于女性, 但 17 岁以下无统计学差异, 17 岁以上的成熟额窦除了右侧宽度 ($P=0.085$) 外均具有统计学意义 ($P<0.05$)。**结论** 通过 CT 三维重建来理解额窦的正常发育规律, 为不同年龄汉族人群额窦疾病的诊断与治疗提供参考。

关键词: 额窦; 发育; 三维重建; CT

中图分类号: R765.4

Analysis of the frontal sinus development by three-dimensional CT imaging

LI Yuqi¹, YANG Yumeng², KONG Jiangwei¹, ZHOU Weibang³, LIU Xiaohan⁴, HOU Yun⁴, ZHANG Xiaobing⁴

(1. the First School of Clinical Medicine, Lanzhou University, Lanzhou 730030, China; 2. Beijing Aerospace General Hospital, Beijing 100076, China; 3. Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, the Affiliated People's Hospital of Ningbo University, Ningbo 315000, China; 4. Department of Otorhinolaryngology Head and Neck Surgery, the First Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730030, China)

Abstract: **Objective** This study aimed to explore the development of the frontal sinus in Han people by computed tomography (CT) images, and to analyze the growth pattern according to age. **Methods** It was retrospectively analyzed for CT data of 285 patients aged from 1 to 25 years. Three-dimensional reconstruction of bilateral frontal sinus was performed by Mimics software. The development time of frontal sinus pneumatization was observed. The height, width, depth and volume of developing frontal sinus were measured, and the data were analyzed statistically. **Results** Frontal sinus pneumatosis was observed as early as in children aged 2 years, and its size increased with age, with a surge period in 4~8 years and 10~14 years, and developed after 17 years. The volume of the left frontal sinus was statistically significantly larger than the right. Frontal sinus was bigger in males than in females, but no statistically significant difference was observed under 17 years old. After frontal sinus reached adult levels (17 years old), there was a statistically significant difference between genders ($P<0.05$), except for the width of the right frontal sinus ($P=0.085$). **Conclusion** The normal development of frontal sinus was understood by CT 3D-reconstruction, which will provide a reference for the diagnosis and treatment of frontal sinus diseases in Han people of different ages.

Keywords: Frontal sinus; Development; Three-dimensional reconstruction; CT

鼻窦为鼻腔周围颅骨中的 4 对含气空腔, 一般双侧对称排列。因其拥有较为复杂且特异的解剖结构, 可作为个体标识^[1]。这其中, 额窦的个体差异

性最大^[2], 认识额窦的发育规律及其正常值可以用于诊断、术前评估及制定治疗计划。我们对额窦的认识经历了从大体解剖、断层影像扫描、三维影像重建

基金项目: 兰州大学第一医院院内基金 (ldyyyn2020-56)。
第一作者简介: 李雨琦, 女, 在读硕士研究生, 住院医师。
通信作者: 张小兵, Email: xiaobingzhangENT@outlook.com

的发展,尽管已有不少应用三维重建 CT 研究成人额窦的报道,但研究儿童及青年额窦发育的报道甚少。本研究回顾性分析中国甘肃省兰州市 1~25 岁汉族人群的 CT 数据,重建出额窦气房的三维精细化模型并测量相关参数,并通过统计学软件分析额窦气房参数与年龄的关系,进一步研究国人额窦发育的规律,为临床诊断和治疗提供思路。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析 2016 年—2023 年在兰州大学第一医院因其他原因就诊而额窦正常的患者,按照年龄分层选取 1~25 岁汉族人群 CT 影像资料,每 1 岁年龄组约 10 例,男女比例约为 1:1,并收集患者的个人信息,如性别、身高、体重等。研究者的纳入标准:患者均为汉族;年龄 1~25 岁;头颅外形基本正常;其额窦在 CT 上能呈现出完整、清晰的影像;额窦无炎症、骨折、畸形等疾病;无正畸及正颌史、无上颌骨外伤史;无生长发育异常史及系统性疾病史。最终纳入额窦影像无异常阴影的资料共 285 例,其中男 143 例,女 142 例。

1.2 研究方法

1.2.1 研究设备 所有研究者均采用 64 排 128 层螺旋 CT 进行鼻窦扫描,扫描仪器为兰州大学第一医院放射科的德国西门子牌大型 CT 扫描仪(SOMATOM SENSATION),设置相关参数:层厚、层间距均为 1 mm;骨窗窗宽 1 500 HU,窗位 450 HU;软组织窗宽 300 HU,窗位 40 HU。扫描完成后将影像学资料以 DICOM 格式上传至工作站,后拷贝到个人电脑,将患者的 CT 数据导入到 Mimics 21.0 软件中进行双侧额窦的三维重建。

1.2.2 额窦三维重建 选择 Mimics 软件中骨窗阈值(226~3 071 HU)创建蒙版,根据法兰克福平面^[3]调整并进行交互式重新切片分割。使用动态

区域增长分离每侧额窦气房,当组织分界模糊时使用手动编辑逐层分割,额窦的下界以鼻额缝为准,选取鼻额缝水平面以上部分进行额窦气房的整体分离。使用软件自带计算功能生成三维额窦的优化模型,对于模型细节手动调整。在连续多个冠状位、水平位、矢状位层面测量三维额窦模型的左右径线、上下径线、前后径线的最大值,利用软件自带功能测得并记录额窦的宽度(左右径、X-Delta)、高度(上下径、Z-Delta)、深度(前后径、Y-Delta)和体积的数值^[4]。其中 X-Delta 为三维额窦模型中 X 轴上最左点和最右点间距离的最大值,作为额窦宽度;Y-Delta 为 Y 轴上最前点和最后点间的距离,取最大值作为额窦深度;Z-Delta 为 Z 轴上最顶点和最底点间的距离,取最大值作为额窦高度。见图 1。

1.3 统计学分析

经 Kolmogorov-Smirnov 检验数据正态性,均值以 $\bar{x} \pm s$ 表示,通过 Pearson 相关系数评估额窦大小参数与患者年龄、性别之间的相关性,采用独立样本 *t* 检验比较男女间额窦的差异。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。所有统计分析均使用软件 SPSS 27.0.1 以及画图软件 GraphPad Prism 10.1.2 进行。

2 结果

2.1 额窦气化率

285 例患者共 570 侧额窦,其中 462 侧额窦(81.1%)已气化。额窦的发育最早可以在 2 岁儿童的 CT 中观察到(5.0%),到 4 岁时超过 50%的儿童额窦已气化,13 岁之后基本都已发育(100.0%)。额窦气化率没有发现显著的性别差异($P = 0.418$)。

2.2 额窦大小随年龄变化规律

表 1 展示了 285 例患者两侧额窦高、宽、深度及体积随着年龄增长的变化。额窦发育从 2 岁开始,随着年龄增加,额窦体积持续增长,在 17 岁后有趋于平缓的趋势。此外,4~8 岁和 10~14 岁观察到

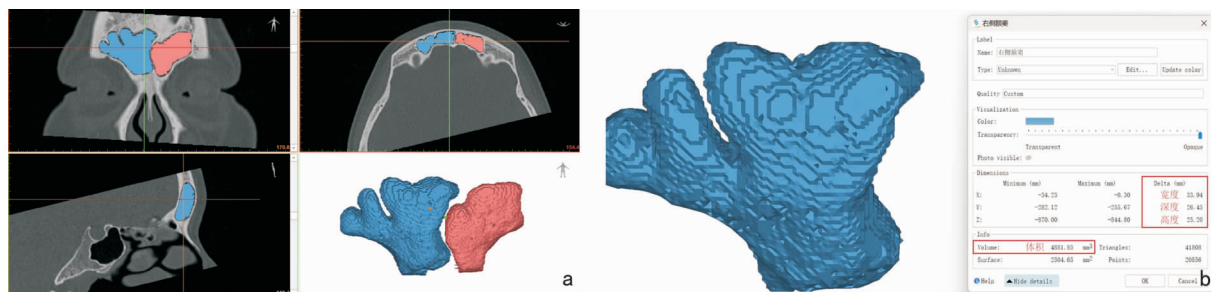


图 1 Mimics 21.0 中额窦的三维重建,并分别测量双侧宽度、深度、高度和体积 a:三维重建后的双侧额窦; b:右侧额窦的解剖参数

2个加速生长期(图2)。

2.3 额窦发育成熟期的大小

如前所述,17岁以后额窦的发展几乎进入平台期,因此17岁可以被认为是额窦达到成年水平的年龄。随后我们测量了成人双侧额窦的大小,结果显示:右侧成熟期额窦的平均高度为(21.07 ± 8.10)mm,平均宽度为(25.99 ± 8.92)mm,平均深度为(19.3 ± 5.75)mm;左侧成熟期额窦平均高度为(23.22 ± 8.04)mm,平均宽度为(28.16 ± 10.25)mm,平均深度为(20.53 ± 6.47)mm,右侧和左侧成熟期额窦的体积

分别为(2.25 ± 2.10)cm³和(2.96 ± 2.69)cm³。

2.4 额窦性别间差异

男性额窦大于女性,但17岁以下发育阶段男女间的差异无统计学意义(P > 0.05)。在17岁以上的成熟个体中除右侧额窦宽度外,其他额窦参数的性别差异均具有统计学意义(P = 0.008 5)。见表2。

2.5 两侧额窦发育差异

左侧额窦大于右侧(图3、表3),其中高度及体积有显著差异(P < 0.001),宽度(P = 0.025)及深度(P = 0.009)有差异,但不如前两者明显。

表1 额窦体积随年龄的变化 ($\bar{x} \pm s$)

年龄(岁)	右侧				左侧			
	高度(mm)	宽度(mm)	深度(mm)	体积(cm ³)	高度(mm)	宽度(mm)	深度(mm)	体积(cm ³)
1	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
2	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.40 ± 1.27	0.65 ± 2.07	0.80 ± 2.53	0.01 ± 0.02
3	4.36 ± 1.28	6.20 ± 0.61	9.83 ± 4.25	0.03 ± 0.06	1.53 ± 2.09	2.00 ± 2.74	3.57 ± 4.84	0.02 ± 0.04
4	4.93 ± 2.39	7.34 ± 3.28	10.92 ± 4.22	0.08 ± 0.12	3.51 ± 4.00	5.68 ± 5.85	7.32 ± 7.64	0.11 ± 0.17
5	7.04 ± 3.70	8.64 ± 4.06	14.15 ± 4.91	0.16 ± 0.20	4.00 ± 4.58	5.15 ± 6.62	7.86 ± 9.18	0.15 ± 0.25
6	7.43 ± 5.06	10.14 ± 6.32	11.87 ± 5.00	0.21 ± 0.30	3.85 ± 6.19	5.02 ± 6.98	5.34 ± 7.34	0.17 ± 0.30
7	7.54 ± 1.94	10.86 ± 4.19	12.46 ± 3.48	0.21 ± 0.17	8.99 ± 6.82	10.59 ± 7.80	9.71 ± 5.70	0.34 ± 0.29
8	10.85 ± 6.74	14.63 ± 9.23	16.81 ± 6.11	0.46 ± 0.54	10.22 ± 6.05	13.83 ± 9.22	16.73 ± 8.40	0.61 ± 0.55
9	9.70 ± 6.54	12.39 ± 7.92	14.11 ± 5.73	0.44 ± 0.54	11.37 ± 5.18	12.93 ± 5.58	16.16 ± 5.08	0.5 ± 0.32
10	14.82 ± 4.42	17.60 ± 4.92	17.32 ± 3.58	0.89 ± 0.56	17.22 ± 6.48	23.17 ± 11.00	18.08 ± 5.55	1.31 ± 0.87
11	15.91 ± 7.92	19.96 ± 10.27	15.92 ± 5.37	1.16 ± 1.09	16.39 ± 7.41	23.96 ± 10.41	19.36 ± 7.14	1.57 ± 1.32
12	15.51 ± 7.63	19.49 ± 10.69	16.22 ± 6.70	0.97 ± 1.20	15.08 ± 9.58	19.99 ± 11.72	15.93 ± 7.80	1.32 ± 1.14
13	18.47 ± 8.74	22.70 ± 10.19	16.96 ± 6.39	1.69 ± 1.81	18.69 ± 7.49	22.06 ± 9.81	19.00 ± 7.73	1.60 ± 1.60
14	23.67 ± 6.55	31.60 ± 8.77	20.51 ± 8.32	2.78 ± 1.39	20.85 ± 10.78	22.25 ± 13.91	17.36 ± 8.19	2.40 ± 2.77
15	19.11 ± 7.88	22.92 ± 9.21	18.54 ± 5.53	1.76 ± 1.37	19.19 ± 6.54	23.24 ± 8.15	21.18 ± 6.53	1.84 ± 1.36
16	19.16 ± 6.76	22.89 ± 9.76	18.55 ± 7.71	1.68 ± 1.44	19.31 ± 8.42	25.29 ± 10.97	20.08 ± 7.98	2.14 ± 1.92
17	21.47 ± 10.81	24.40 ± 10.98	17.97 ± 6.00	2.09 ± 1.56	20.82 ± 9.83	25.31 ± 11.25	20.89 ± 7.36	2.80 ± 3.37
18	21.80 ± 6.48	25.74 ± 5.95	18.35 ± 4.68	1.93 ± 1.72	24.05 ± 7.54	28.05 ± 11.83	19.97 ± 6.17	3.03 ± 2.59
19	23.96 ± 7.51	29.37 ± 9.05	20.71 ± 4.47	2.82 ± 1.88	22.50 ± 7.09	25.74 ± 10.54	18.14 ± 3.96	2.40 ± 2.07
20	19.29 ± 4.16	25.64 ± 6.53	20.26 ± 2.89	1.63 ± 0.84	21.78 ± 5.05	28.02 ± 9.96	21.41 ± 3.38	2.21 ± 1.42
21	24.19 ± 8.00	28.31 ± 10.16	21.08 ± 7.52	3.53 ± 3.47	26.16 ± 9.11	30.67 ± 10.34	22.80 ± 8.23	4.16 ± 3.24
22	18.20 ± 6.82	22.31 ± 8.37	18.68 ± 6.15	1.69 ± 1.72	21.33 ± 6.26	26.46 ± 7.65	19.88 ± 5.22	2.30 ± 1.70
23	18.55 ± 8.57	25.36 ± 9.30	18.15 ± 7.33	1.87 ± 1.46	21.95 ± 10.39	25.64 ± 11.41	20.21 ± 9.68	2.75 ± 3.30
24	20.69 ± 9.05	27.55 ± 9.49	19.30 ± 5.94	2.35 ± 2.73	24.86 ± 8.22	31.41 ± 9.75	20.70 ± 5.72	3.28 ± 2.35
25	19.61 ± 10.11	23.07 ± 10.21	18.92 ± 6.75	1.99 ± 2.14	24.69 ± 8.61	32.33 ± 8.96	21.66 ± 7.53	3.63 ± 3.68

注:285例患者按照年龄分层,每1岁年龄组约10例患者,男女比例约1:1。

表2 17岁及以上患者不同性别间额窦的差异 ($\bar{x} \pm s$)

参数	男	女	t	P
右侧额窦高度(mm)	23.71 ± 7.96	18.67 ± 7.52	3.241	0.002
右侧额窦宽度(mm)	27.62 ± 9.07	24.52 ± 8.59	1.741	0.085
右侧额窦深度(mm)	20.65 ± 6.27	18.08 ± 4.98	2.267	0.026
右侧额窦体积(cm ³)	3.08 ± 2.51	1.50 ± 1.25	4.027	<0.001
左侧额窦高度(mm)	26.61 ± 7.95	20.15 ± 6.86	4.341	<0.001
左侧额窦宽度(mm)	31.98 ± 9.77	24.71 ± 9.50	3.743	<0.001
左侧额窦深度(mm)	22.18 ± 6.25	19.04 ± 6.36	2.477	0.015
左侧额窦体积(cm ³)	4.29 ± 2.94	1.76 ± 1.73	5.282	<0.001

表 3 两侧额窦的参数对比 ($\bar{x} \pm s$)

参数	右侧	左侧	<i>t</i>	<i>P</i>
高度 (mm)	13.47 ± 10.39	14.57 ± 10.95	-3.332	<0.001
宽度 (mm)	16.84 ± 12.59	18.04 ± 13.6	-2.249	0.025
深度 (mm)	13.95 ± 8.75	14.85 ± 9.53	-2.619	0.009
体积 (cm ³)	1.24 ± 1.70	1.55 ± 2.16	-3.868	<0.001

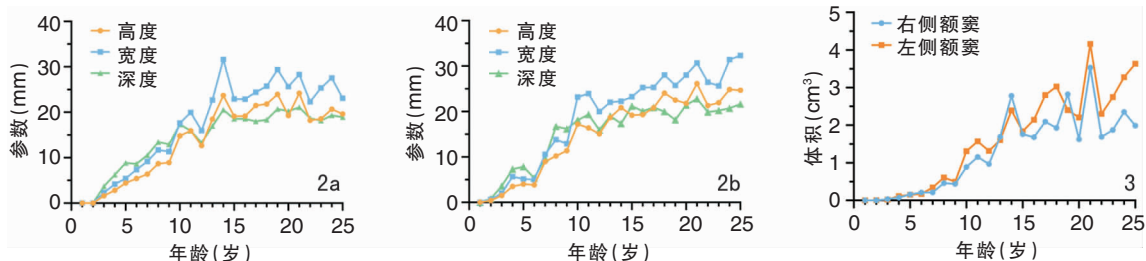


图 2 额窦参数随年龄的变化 2a:右侧; 2b:左侧 图 3 两侧额窦体积

3 讨论

儿童的鼻窦并非成人鼻窦的等比例缩小版本,不能简单地概括总结。其中额窦的发育有着极大的个体差异^[2],虽然其相关研究较其他鼻窦少。了解额窦的发育规律是研究不同时期额窦的正常形态与额窦炎的表现及发病机制等的重要前提。目前已有一些研究对额窦的发育进行了评估,但由于种族和个体的不同导致额窦发育差异很大^[5],相比西方人,东方人的额窦小很多^[6],因此国外的研究大多不适用于我国情况。所以,研究我国完整的额窦发育规律尤为重要。本研究以中国汉族人群为研究对象,年龄范围覆盖从额窦开始至结束发育的全部时期,旨在揭示完整的发育规律,为临床应用提供诊疗思路。

对于额窦的开始发育及完成的时间,各个学者持有不同的意见。本研究认为额窦的发育与年龄呈正相关,同大多数研究一致^[1-2,7-8],本研究发现 2 岁前额窦未气化,但在 2 岁儿童的重建三维模型上发现已有额窦开始发育。与之不同,Weiglein 等^[2]认为通常在 4 岁前不能在 X 线片上看到额窦发育;Tatlismak 等^[9]也认为额窦发育从 2 岁开始,但直到 5~6 岁才能在 CT 影像学中看到,原因可能是二维图像平面的限制。本研究使用了三维重建 CT 的方法发现其发育始于 2 岁,超过 50% 的 4 岁儿童额窦已发育,这一比例远远高于 Spaeth 等^[10]在 1997 年的同龄研究。同样,对于额窦发育完成的时间也存在争议。有学者认为额窦于青春期基本完成

发育^[10-11],也有部分学者认为其在 20 岁后还会进一步发育^[9,12-16],其原因可能有咀嚼和生长激素水平的影响^[12,17-18],或者颅底和面部的持续增长带来额窦高度的增加^[5]。

各个研究结果的不同或与使用的技术手段有关,但同样通过三维重建 CT 的研究与本文结果也不尽相同。Yun 等^[19]发现额窦从 4 岁开始发育到 20 岁停止,较本研究发现的阶段晚 2~3 年;Rennie 等^[12]认为额窦在 1~3 岁开始发育,到 22~25 岁时才达到最大。说明结果不同的原因除检测方法外,种族的差异可能是主要原因。然而,国内目前对额窦的研究也未能达成共识。由此可见,额窦的发育在种群间和种群内部均或存在差异,这证实了基因型和环境因素在额窦的发展中起着重要作用^[5],但同时也不排除有额窦测量的差异、生活环境^[20]、感染等因素的影响,具体机制还需要进一步的研究。

不同发育时期额窦的增长速度不同。Spaeth 等^[10]发现额窦在 0~8 岁以及 12~14 岁有两个明显的扩张期;Ruf 等^[21]发现额窦的大小在 12.5~17.5 岁快速发育,15 岁左右达到最大值,晚于身高发育峰值约 1.4 岁^[22];Abate 等^[5]认为额窦发育在面部发育顶峰(12 岁)后变慢,与年龄相关性不大;Shah 等^[15]发现额窦在 1~5 岁急剧生长,由于受试者年龄在 12 岁以下,所以没有进一步发现青春期的规律;Lee 等^[23]认为在出生至 4 岁和 8~12 岁存在 2 个活跃期。同样采用三维重建 CT 技术手段的亚洲研究者 Yun 等^[19]发现额窦加速期在 13~16 岁青春期。不同于本研究发现的 2 个时期(4~8 岁和 10~14 岁),各个研究中激增期的具体时间段不同,

其原因尚不清楚,但猜测除了技术手段和人种差异,可能与骨骼成熟^[22]、颅面生长^[24]及青春期激素变化有关^[25]。

额窦的发育不光随年龄变化,还与性别相关,本研究发现不同年龄组间男性额窦大小均高于女性。与部分研究相同,发育期间性别间差异不具有统计学意义^[19,26];发育成熟后性别间差异具有统计学意义,这与大多研究相符^[5,10,12-13,17-18,25,27]。这可能因为男性额窦的生长期比女性长1~2年^[10],如Brown等^[28]注意到男性额窦的大体发育在15.5岁时完成,女性则在13岁时就停止生长。此外,Tehranchi等^[26]认为额窦发育与颅面结构生长间的交互作用可能会导致性别间差异。

额窦的发育大多不对称,左侧额窦有发育优势,这与大多研究结果一致^[10,12,14,19,25]。其原因多认为是左侧额窦比右侧额窦的发育周期长,有学者指出右侧额窦一般在16~18岁后停止生长,而左侧额窦似乎能进一步发育到25岁^[12]。当然,也有学者没有观察到两侧额窦的不对称^[27],少部分人认为右侧比左侧宽^[13],双侧额窦发育不对称仍存在争议,目前多认为左右侧额窦独立发育,但机制还需进一步研究。

4 小结

本研究使用三维重建的方法阐述了1~25岁汉族人群正常额窦的发育规律,性别间的差异和左右侧额窦发育的不对称性。与之前的研究相比,覆盖了额窦气化开始至完成的全部年龄段,完善了国内现有额窦发育规律的研究。鉴于额窦发育极强的种族及个体差异性,使得我们的结果具有一定的局限性,但仍可为我国汉族人群额窦气化规律提供参考,并为额窦疾病的诊断和治疗提供理论依据。

参考文献:

- [1] Kirk NJ, Wood RE, Goldstein M. Skeletal identification using the frontal sinus region: A retrospective study of 39 cases[J]. *J Forensic Sci*, 2002, 47(2): 318-323.
- [2] Weiglein A, Anderhuber W, Wolf G. Radiologic anatomy of the paranasal sinuses in the child[J]. *Surg Radiol Anat*, 1992, 14(4): 335-339.
- [3] Zebeib AM, Naini FB. Variability of the inclination of anatomic horizontal reference planes of the craniofacial complex in relation to the true horizontal line in orthognathic patients[J]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2014, 146(6): 740-747.
- [4] 张静月,杨志强,陈小婉,等. 额窦口参数及鼻丘气房形态学与慢性鼻窦炎病情严重程度的关系[J]. *中国耳鼻咽喉颅底外科杂志*, 2022, 28(4): 14-19.
- [5] Abate A, Gaffuri F, Lanteri V, et al. A CBCT based analysis of the correlation between volumetric morphology of the frontal sinuses and the facial growth pattern in caucasian subjects. A cross-sectional study[J]. *Head Face Med*, 2022, 18(1): 4.
- [6] 黄选兆,汪吉宝,孔维佳. 实用耳鼻咽喉头颈外科学[M]. 北京:人民卫生出版社,2008.
- [7] Wolf G, Anderhuber W, Kuhn F. Development of the paranasal sinuses in children: implications for paranasal sinus surgery[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 1993, 102(9): 705-711.
- [8] 廖大红,段传新. 计算机辅助婴儿鼻窦CT影像解剖学研究[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2011, 25(23): 1057-1059.
- [9] Tallisumak E, Ovali GY, Aslan A, et al. Identification of unknown bodies by using CT images of frontal sinus[J]. *Forensic Sci Int*, 2007, 166(1): 42-48.
- [10] Spaeth J, Krügelstein U, Schlöndorff G. The paranasal sinuses in CT-imaging: Development from birth to age 25[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 1997, 39(1): 25-40.
- [11] Cameriere R, Ferrante L, Molleson T, et al. Frontal sinus accuracy in identification as measured by false positives in kin groups[J]. *Forensic Sci Int*, 2008, 53(6): 1280-1282.
- [12] Rennie C, Satyapal KS, Haffajee MR. Development of the paranasal air sinuses in a South African Population utilising three dimensional (3D) reconstructed models[J]. *Eur J Anat*, 2017, 21(3): 197-209.
- [13] Park JA, Lee YJ, Yeo IS, et al. Three-dimensional linear and volumetric computed tomography analysis of the frontal sinus[J]. *Anat Cell Biol*, 2022, 55(2): 142-147.
- [14] Fatu C, Puisoru M, Rotaru M, et al. Morphometric evaluation of the frontal sinus in relation to age[J]. *Ann Anat*, 2006, 188(3): 275-280.
- [15] Shah RK, Dhingra JK, Carter BL, et al. Paranasal sinus development: a radiographic study[J]. *Laryngoscope*, 2003, 113(2): 205-209.
- [16] 闫涓淳,吴朔春,袁新宇. 儿童鼻窦正常气化规律初探[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2011, 46(8): 650-653.
- [17] Tallisumak E, Ovali GY, Asirdizer M, et al. CT study on morphometry of frontal sinus[J]. *Clin Anat*, 2008, 21(4): 287-293.
- [18] Jr RBM, Rehl RM, Lanza DC. Clinically relevant frontal sinus anatomy and physiology[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2001, 34(1): 1-22.
- [19] Yun IS, Kim YO, Lee SK, et al. Three-dimensional computed tomographic analysis of frontal sinus in Asians[J]. *J Craniofac Surg*, 2011, 22(2): 462-467.
- [20] Koertvelyessy T. Relationships between the frontal sinus and climatic conditions: a skeletal approach to cold adaptation[J]. *Am J Phys Anthropol*, 1972, 37(2): 161-172.
- [21] Ruf S, Panchez H. Development of the frontal sinus in relation to

- somatic and skeletal maturity. A cephalometric roentgenographic study at puberty[J]. Eur J Orthod, 1996, 18(5): 491-497.
- [22] Ruf S, Pancherz H. Can frontal sinus development be used for the prediction of skeletal maturity at puberty? [J]. Acta Odontol Scand, 1996, 54(4): 229-234.
- [23] Lee DH, Shin JH, Lee DC. Three-dimensional morphometric analysis of paranasal sinuses and mastoid air cell system using computed tomography in pediatric population[J]. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2012, 76(11): 1642-1646.
- [24] Moore K, Ross A. Frontal sinus development and juvenile age estimation[J]. Anat Rec (Hoboken), 2017, 300(9): 1609-1617.
- [25] Lee S, Fernandez J, Mirjalili SA, et al. Pediatric paranasal sinuses-Development, growth, pathology, & functional endoscopic sinus surgery[J]. Clin Anat, 2022, 35(6): 745-761.
- [26] Tehranchi A, Motamedian SR, Saedi S, et al. Correlation between frontal sinus dimensions and cephalometric indices: A cross-sectional study[J]. Eur J Dent, 2017, 11(1): 64-70.
- [27] Emirzeoglu M, Sahin B, Bilgic S, et al. Volumetric evaluation of the paranasal sinuses in normal subjects using computer tomography images: A stereological study[J]. Auris Nasus Larynx, 2007, 34(2): 191-195.
- [28] Brown WA, Molleson TI, Chinn S. Enlargement of the frontal sinus[J]. Ann Hum Biol, 1984, 11(3): 221-226.
- (收稿日期:2023-12-04;网络首发:2024-03-19)

本文引用格式:李雨琦,杨雨濛,孔江维,等. 三维 CT 影像学分析额窦的发育规律[J]. 中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2024,30(5):6-11. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202423429

Cite this article as:LI Yuqi, YANG Yumeng, KONG Jiangwei, et al. Analysis of the frontal sinus development by three-dimensional CT imaging[J]. Chin J Otorhinolaryngol Skull Base Surg, 2024,30(5):6-11. DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.202423429