

# 鼻膨胀体对鼻腔气流及艾蒿颗粒沉积的影响\*

张亚<sup>1</sup> 马瑞萍<sup>1</sup> 王玉升<sup>1</sup> 董敬亮<sup>2</sup> 张靖彬<sup>3</sup> 胡真真<sup>1</sup> 杨飞轮<sup>1</sup> 巩敏杰<sup>1</sup> 姜森<sup>4</sup>  
田琳<sup>5</sup> 张璐瑶<sup>1</sup> 王波涛<sup>1</sup> 彭裕萍<sup>6</sup> 郑国玺<sup>1</sup>

**[摘要]** 目的:鼻膨胀体(nasal swell body, NSB)由鼻中隔软骨、骨和肿胀的软组织构成,在内镜检查 and 影像学检查中均可见。然而,目前其具体功能仍不十分清楚。根据解剖学和组织学证据,推测 NSB 在调节鼻气流和清洁过滤方面可能具有重要作用。本研究旨在探究 NSB 在生理状态下对鼻腔空气动力学和变应原颗粒沉积的影响。**方法:**对 30 名西北地区健康成年人志愿者进行鼻腔鼻窦 CT 扫描并重建鼻腔三维模型,并在其基础上生成虚拟手术后的无 NSB 鼻腔模型。本研究采用计算流体力学数值模拟,对鼻腔内气流的分布、鼻阻力、加温加湿效率以及各解剖部位的花粉颗粒沉积率进行定量分析。此外,还使用 3D 打印技术制作了全透明分块鼻腔模型,用于鼻阻力测量和变应原颗粒沉积仿生实验。**结果:**①西北地区健康成人 NSB 双侧宽度(12.85±1.74)mm,长度为(28.30±1.92)mm;②移除 NSB 后,除了膨胀体平面局部气流流速减低外,其余截面流速无明显变化,整体鼻阻力无明显变化;③移除 NSB 后,鼻腔加温加湿功能无明显改变;④移除 NSB 后,艾蒿花粉在鼻中隔沉积减少,沉积率分别为(22.79±6.61)% vs(30.70±12.27)%;下气道沉积增加,沉积率分别为(24.12±6.59)% vs(17.00±5.57)%。**结论:**本研究首次探索了膨胀体对健康人群鼻腔内气流、加温加湿及变应原颗粒沉积的影响。研究结果发现健康鼻腔移除膨胀体:①鼻气流分布发生轻度改变,而鼻阻力则无明显变化;②鼻腔加温和加湿功能无明显变化;③鼻中隔过滤艾蒿花粉功能减弱,可导致下气道艾蒿花粉变应原沉积增加。

**[关键词]** 鼻膨胀体;计算流体力学;离散颗粒模型;3D 打印;鼻阻力

**DOI:**10.13201/j.issn.2096-7993.2023.07.006

**[中图分类号]** R765.9 **[文献标志码]** A

## Effect of nasal swell body on nasal airflow and Artemisia pollen deposition

ZHANG Ya<sup>1</sup> MA Rui ping<sup>1</sup> WANG Yusheng<sup>1</sup> DONG Jingliang<sup>2</sup> ZHANG Jingbin<sup>3</sup>  
HU Zhenzhen<sup>1</sup> YANG Feilun<sup>1</sup> GONG Minjie<sup>1</sup> LOU Miao<sup>4</sup> TIAN Lin<sup>5</sup>  
ZHANG Luyao<sup>1</sup> WANG Botao<sup>1</sup> PENG Yuping<sup>6</sup> ZHENG Guoxi<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, the Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, 710000, China; <sup>2</sup>Institute for Sustainable Industries & Liveable Cities, Victoria University, Australia; <sup>3</sup>Department of Medical Imaging, the Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University; <sup>4</sup>Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Shaanxi Provincial People's Hospital; <sup>5</sup>School of Engineering, RMIT University, Australia; <sup>6</sup>Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Yulin No. 1 Hospital)

Corresponding author: ZHENG Guoxi, E-mail: zhengguoxi888@sina.com

**Abstract Objective:** The nasal swell body(NSB) consists of the nasal septal cartilage, nasal bone, and swollen soft tissue, all of which are visible during endoscopic and imaging examinations. Although the function of the NSB remains uncertain, there is evidence to suggest that it plays a vital role in regulating nasal airflow and filtering inhaled air. Based on anatomical and histological evidence, it is hypothesized that the NSB is indispensable in these processes. This study aims to investigate the impact of NSB on nasal aerodynamics and the deposition of allergen particles under physiological conditions. **Methods:** The three-dimensional (3D) nasal models were reconstructed from computed tomography (CT) scans of the paranasal sinus and nasal cavity in 30 healthy adult volunteers from Northwest China, providing basis for the construction of models without NSB following virtual NSB-removal sur-

\*基金项目:国家自然科学基金项目(No:82000960);陕西省重点研发计划项目(No:2020GXLH-Y-017);榆林市科技计划项目(No:CXY-2020-047)

<sup>1</sup>西安交通大学第二附属医院耳鼻咽喉头颈外科(西安,710000)

<sup>2</sup>维多利亚大学可持续产业与宜居城市研究所

<sup>3</sup>西安交通大学第二附属医院影像科

<sup>4</sup>陕西省人民医院耳鼻咽喉头颈外科

<sup>5</sup>皇家墨尔本理工大学航空机械及制造工程学院

<sup>6</sup>榆林市第一医院耳鼻咽喉头颈外科

通信作者:郑国玺,E-mail:zhengguoxi888@sina.com

gery. To analyze the distribution of airflow in the nasal cavity, nasal resistance, heating and humidification efficiency, and pollen particle deposition rate at various anatomical sites, we employed the computed fluid dynamics (CFD) method for numerical simulation and quantitative analysis. In addition, we created fully transparent segmented nasal cavity models through 3D printing, which were used to conduct bionic experiments to measure nasal resistance and allergen particle deposition. **Results:** ①The average width and length of the NSB in healthy adults in Northwest China were  $(12.85 \pm 1.74)$  mm and  $(28.30 \pm 1.92)$  mm, respectively. ②After NSB removal, there was no significant change in total nasal resistance, and cross-sectional airflow velocity remained essentially unaltered except for a decrease in topical airflow velocity in the NSB plane. ③There was no discernible difference in the nasal heating and humidification function following the removal of the NSB; ④After NSB removal, the deposition fraction (DF) of Artemisia pollen in the nasal septum decreased, and the DFs post-and pre-NSB removal were  $(22.79 \pm 6.61)\%$  vs  $(30.70 \pm 12.27)\%$ , respectively; the DF in the lower airway increased, and the DFs post-and pre-NSB removal were  $(24.12 \pm 6.59)\%$  vs  $(17.00 \pm 5.57)\%$ , respectively. **Conclusion:** This study is the first to explore the effects of NSB on nasal airflow, heating and humidification, and allergen particle deposition in a healthy population. After NSB removal from the healthy nasal cavities: ①nasal airflow distribution was mildly altered while nasal resistance showed no significantly changed; ②nasal heating and humidification were not significantly changed; ③the nasal septum's ability to filter out Artemisia pollen was diminished, which could lead to increased deposition of Artemisia pollen in the lower airway.

**Key words** nasal swell body; computational fluid dynamics; discrete particle model; 3D printing; nasal resistance

早年间鼻膨胀体(nasal swell body, NSB)被认为是常见的解剖变异<sup>[1]</sup>, 近期研究表明 NSB 为正常的鼻中隔结构, 位于下鼻甲上方中鼻甲前方<sup>[2]</sup>, 由鼻中隔软骨、骨和肿胀的软组织构成。在健康成人中约 94% 的鼻腔 CT 中可观察到鼻中隔前上方的 NSB 结构<sup>[3]</sup>。然而, NSB 的生理功能尚不清楚, 其存在及重要性在临床上尚未得到正视<sup>[4]</sup>, 常被认为“鼻中隔偏曲”而误诊<sup>[5]</sup>。Aki 等<sup>[6]</sup>分析了 NSB 与生活质量之间的相关性, 发现鼻中隔偏曲和 NSB 肥大与生活质量显著下降有关, 有研究者认为 NSB 可能具有鼻气流和空气湿化的生理功能, 与鼻窦慢性炎症和鼻中隔偏曲等鼻部疾病发生密切相关<sup>[5,7]</sup>。因此, 正确认识 NSB 这一独特结构对于鼻部疾病的治疗与预防非常重要。

同时, 在中国北方草原地区, 花粉诱发的变应性鼻炎发生率为 32.4%<sup>[8]</sup>。研究发现艾蒿花粉是我国西北地区夏秋季最常见和最严重的室外变应原, 由艾蒿花粉引起的变应性疾病的发病率占花粉症患者的 10%~14%<sup>[9]</sup>。我们前期发现艾蒿花粉在健康成人鼻腔中具有高度集中的特征, 主要沉积于鼻中隔、鼻前庭、中鼻甲及鼻道区, 而位于中鼻甲前端的 NSB 在变应原防护中的作用尚未研究。

计算流体力学模拟(computational fluid dynamics, CFD)可以通过三维重建准确测量 NSB 结构获得真实、可靠、量化的信息, 可重复模拟手术, 对比手术疗效并评估结构功能之间的关系。相较于体内研究, 具有快速、无创、可定量等优势<sup>[10-12]</sup>。因此, 本文运用 CFD 技术模拟 NSB 切除, 首次定量评估 NSB 对健康鼻腔鼻阻力及过滤功能的影响, 并结合 3D 打印技术进行鼻腔模型体外实验对艾蒿花粉在鼻腔中的沉积规律进行定量

研究。试图明确 NSB 对健康鼻腔生理功能的影响, 为鼻腔手术及变应原防护提供气流动力学依据。

## 1 对象与方法

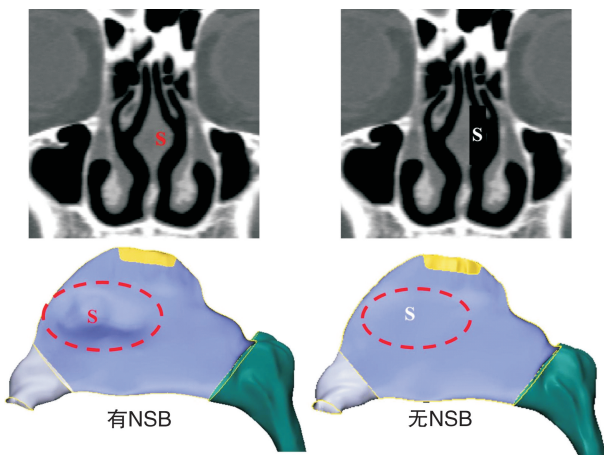
### 1.1 研究对象

征募 30 名西北地区健康成年人志愿者, 男 15 名, 女 15 名; 年龄  $(23.5 \pm 3.4)$  岁。要求受试者身体健康, 近 3 个月未患上呼吸道疾病, 无鼻塞流涕症状, 无鼻腔用药史, 鼻内镜检查排除急慢性鼻炎、鼻窦炎、明显的鼻中隔偏曲或穿孔、鼻甲肥大、鼻畸形等鼻腔疾病。视觉模拟评分 (visual analog scale, VAS) 和鼻腔鼻窦结局测试-20 (SNOT-20) 评分均为 0 分。志愿者在室温下安静休息 10 min 后, 清除鼻腔内分泌物, 取仰卧位, 以头架固定头部, 保持正中位, 要求平静吸气末屏气, 行西门子双源光子 CT 扫描, 范围由额窦上缘至声门上水平, 扫描层距为 0.6 mm, 分辨率  $512 \times 512$  像素, 以 DICOM 格式储存数据。此研究方案经西安交通大学第二附属医院医学伦理委员会批准通过, 受试者严格签署知情同意书。

### 1.2 鼻腔模型三维重建

利用 CT 图像在 3D Slicer 软件中仔细识别每个层面空气和黏膜的边界, 创建真实的有 NSB 的三维鼻腔模型。为了构建无 NSB 模型, 在有 NSB 模型基础上对 NSB 周围的鼻气道边界进行修改 (图 1)。气流量可忽略不计的蝶窦、额窦、筛窦未纳入研究。在 Geomagic Wrap 中将鼻腔模型按照解剖部位划分为鼻前庭、鼻中庭、下鼻道、中鼻道、上鼻道、嗅区、鼻中隔、鼻咽、上颌窦 (图 2) 并保存为 STL 格式。为了求解流体流动和粒子轨迹方程, 基于先前验证过的方法, 将模型先后导入

ICEM-CFD、Fluent 软件中重构一种新的多面体网格,最小网格尺寸为 1 mm,最大网格尺寸为 10 mm,为了解决近壁特征,并在壁缘附着 5 层边界层,最终获得大约 200 万个六面体网格<sup>[12]</sup>(图 3)。关于模型的重建和验证的更多细节可以在之前的工作中找到<sup>[11]</sup>。在鼻腔设置与主流线垂直的多组截面。前鼻孔截面定义为 inlet,鼻前庭内设置截面 p1~p3,NSB 处截面记为 p4,中鼻甲头处截面设定为 p5,中鼻甲后部的截面定义为 p6,p7 代表后鼻孔截面,p8 为鼻咽部最大横截面积处(图 3)。



红色 S 表示有 NSB,白色 S 表示无 NSB。  
图 1 有无 NSB 的鼻腔 CT 及三维模型

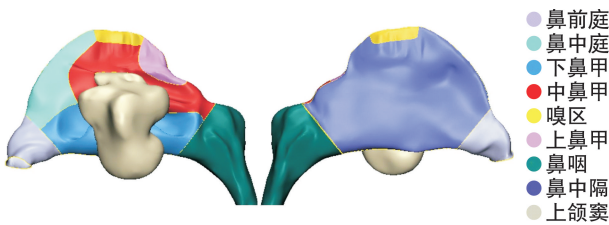


图 2 鼻腔模型解剖分区(左侧鼻腔的外侧面及鼻中隔面)

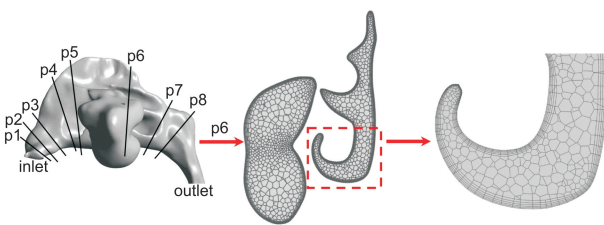


图 3 鼻腔截面划分及网格信息

### 1.3 气流和颗粒模拟

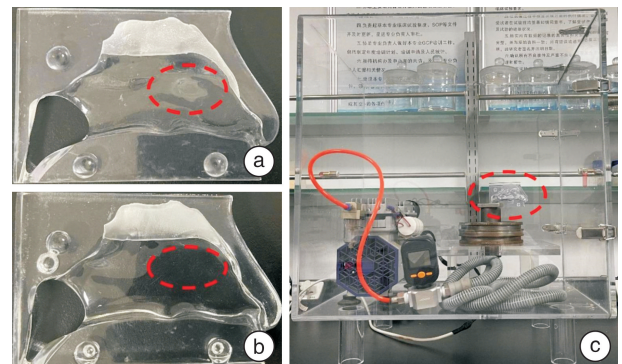
采用吸气流量为 15 L/min 模拟成人静息状态,在吸气、层流、稳态条件下采用 Ansys-Fluent18.0 进行气流模拟<sup>[13]</sup>。由于流速低,鼻内流场被视为刚性、无滑移、不可压缩的。流体流动的连

续性和动量方程遵循以前发表的文献<sup>[12,14]</sup>。①将鼻孔平面设置为“压力入口”,零压力;②入口平面舒适空气条件下温度设定为 24 °C (297K),相对湿度为 30%(绝对湿度 0.007 64 g/L);③鼻腔壁面温度设定为 33.5 °C (306.5 K),相对湿度 100%(绝对湿度 0.037 50 g/L);④鼻咽出口平面设置为“速度出口”,速度值根据流速(15 L/min)和出口面积计算。

使用单向耦合拉格朗日离散相位模型计算单个粒子运动轨迹。该模型首先模拟鼻腔气流场,然后在考虑重力、阻力忽略布朗力等的情况下确定每个粒子的轨迹<sup>[15]</sup>。艾蒿花粉颗粒为椭球形,极轴长 20.6 μm,赤道轴长 22.1 μm,形状因子为 0.99,湿花粉密度为 840~1320 kg/m<sup>3</sup><sup>[9]</sup>。我们首先评估了粒子数的独立性,发现从 10 000 个到 20 000 个粒子,沉积结果的变化小于 5%。因此,本研究中在鼻腔入口随机释放 10 000 个密度为 1080 kg/m<sup>3</sup>、形状因为 0.99、直径为 21 μm 的粒子,并记录粒子在鼻腔各部解剖部位的沉积量,比较有无 NSB 时模型中微粒的区域沉积模式。此外,本研究中模拟的颗粒沉积仅表明了粒子最初沉积的部位,未考虑黏液纤毛对颗粒的物理作用。

### 1.4 3D 打印鼻腔模型仿生实验

为了提高模型可视化程度,鼻腔、鼻窦选取光敏树脂材料,由 5400-3D 打印机进行分区打印<sup>[16]</sup>(图 4a、b)。使用 Diagnostic Cube Rhino31 鼻阻力检测仪进行模型鼻阻力测量。颗粒沉积仿生实验如图 4c 所示,在高透明亚克力真空密封箱内,应用高精度光学平板架、精准气缸活塞、PVC 螺纹管组合作为实验台面。在艾蒿花粉季于陕西省榆林市市郊采集艾蒿花粉颗粒,经过实验室多级分样筛过筛后,去除杂质,并自然干燥至恒重。



a: N3 有 NSB 时右侧鼻中隔右视图(红色虚线圈中 NSB);b: N3 无 NSB 时右侧鼻中隔右视图(红色虚线处 NSB 切除);c: 颗粒沉积仿生实验图(红色虚线处放置鼻腔模型)。

图 4 3D 打印鼻腔模型花粉沉积实验图

在进行鼻腔 3D 打印模型花粉沉积实验时,先将医用凡士林均匀涂抹于鼻腔模型壁面,凡士林可黏附撞击在鼻腔壁面的花粉颗粒,后进行花粉吸入实验。将雾化面罩通过头带固定于鼻腔模型正前方,在氧流量为 8 L/min 的流速下雾化花粉颗粒,用真空泵(Fujiwara,电动电泵)调节至 15 L/min 的恒定吸气流速,使气溶胶颗粒均匀通过鼻腔模型并持续 3 min。实验完成后拆卸鼻腔模型,定性观察各解剖部位中的颗粒沉积。用刮刀仔细刮取各部位沾有花粉的凡士林涂层,均匀涂抹于载玻片上,用加有液体石蜡和凡士林的碱性复红饱和溶液染色剂染色后于高倍显微镜下计数各部位颗粒数并计算沉积率。由于医用凡士林黏性较好,在脱膜过程中花粉的损耗很少,可忽略不计。每次试验后,酒精清洗鼻腔模型并在通风橱中烘干。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析。不同组别的比较采用 *t* 检验, *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 NSB 解剖学特征

在所有受试者有 NSB 的 CT 图像上于 NSB 最宽处测量其宽度(左右径),并在该平面上测量其长度(前后径)和正中距鼻尖、鼻底和蝶窦面的距离。其解剖学特征见表 1,本研究的测量值与 Costa 等<sup>[17]</sup>研究数据相似,相较于朱杭军等<sup>[3]</sup>研究数据,左右径更宽,前后径更短。

2.2 模型验证

将不同流量下 CFD 计算结果中的鼻阻力结果与 3D 打印鼻腔模型鼻阻力仪测量结果进行比较。数值模拟结果和体外模型实验结果具有良好的—致性,见图 5a。

将本研究中的颗粒惯性参数与沉积效率的关系与文献中数据进行比较<sup>[18-19]</sup>。当惯性参数 < 10 000 μm<sup>2</sup> · cm<sup>3</sup>/s 时,本研究模拟和 3D 打印体外模型结果与 Kelly 等结果相近<sup>[18]</sup>,当惯性参数 > 10 000 μm<sup>2</sup> · cm<sup>3</sup>/s 时,本研究结果和 Shi<sup>[19]</sup>等趋势相吻合,差异主要与鼻腔结构和模型内部光滑程度相关,见图 5a。

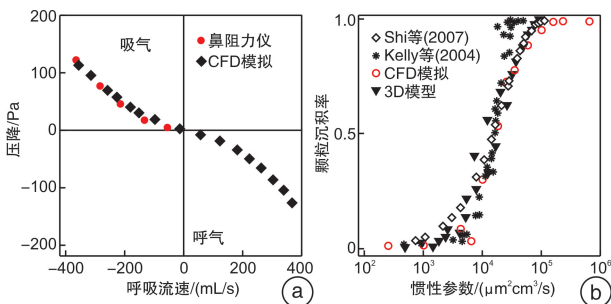
2.3 气流变化

与有 NSB 模型比较,NSB 移除后鼻腔气流主要发生两大改变(图 6):一部分气流在无 NSB 的阻碍后随着气道前部的增宽直接冲击鼻甲结构,在中鼻甲头端附近产生更大的漩涡结构,气流在此处的走行变得更为复杂;一部分气流朝向外侧的窦口鼻道复合体,结合 p6 平面速度云图可见术后上颌窦气流流速减低,流线减少。此外,我们又统计了鼻腔中部 p4 和 p6 平面的流速,发现 p4 平面手术前后流速为(0.56 ± 0.15)和(0.50 ± 0.15) m/s, p6 平面手术前后流速为(0.49 ± 0.17) m/s 和(0.50 ± 0.17) m/s,但两者差异均无统计学意义。

有 NSB 时鼻阻力为(0.08 ± 0.03) Pa · s/mL,无 NSB 时鼻阻力为(0.08 ± 0.02) Pa · s/mL,配对 *t* 检验示两者差异无统计学意义(*P* > 0.05)。

表 1 30 名研究对象的解剖学特征

	测量值	Costa 等 <sup>[17]</sup>	朱杭军等 <sup>[3]</sup>	mm, $\bar{X} \pm S$
双侧宽度	12.85 ± 1.74	12.40 ± 1.90	10.30 ± 1.27	—
长度	28.30 ± 1.92	28.10 ± 3.60	31.35 ± 5.18	25.4 ± 5.30
单侧宽度	6.45 ± 1.08	—	—	5.13 ± 1.30
正中距鼻尖	38.31 ± 4.23	43.90 ± 4.10	—	—
正中距鼻底	25.00 ± 5.56	24.80 ± 2.90	—	—
正中距蝶窦面	38.52 ± 3.49	39.00 ± 4.60	—	—

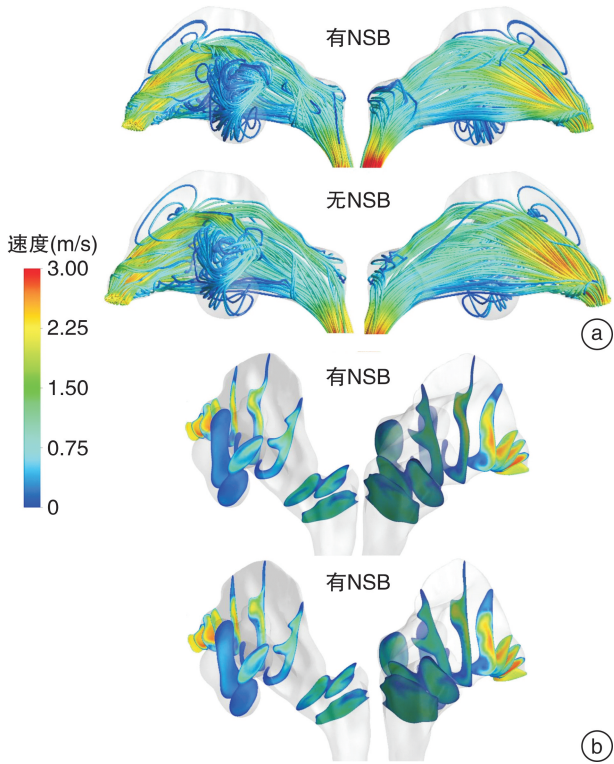


a:数值模拟和临床检测的鼻阻力比较;b:颗粒沉积效率随惯性参数变化。

图 5 模型验证图

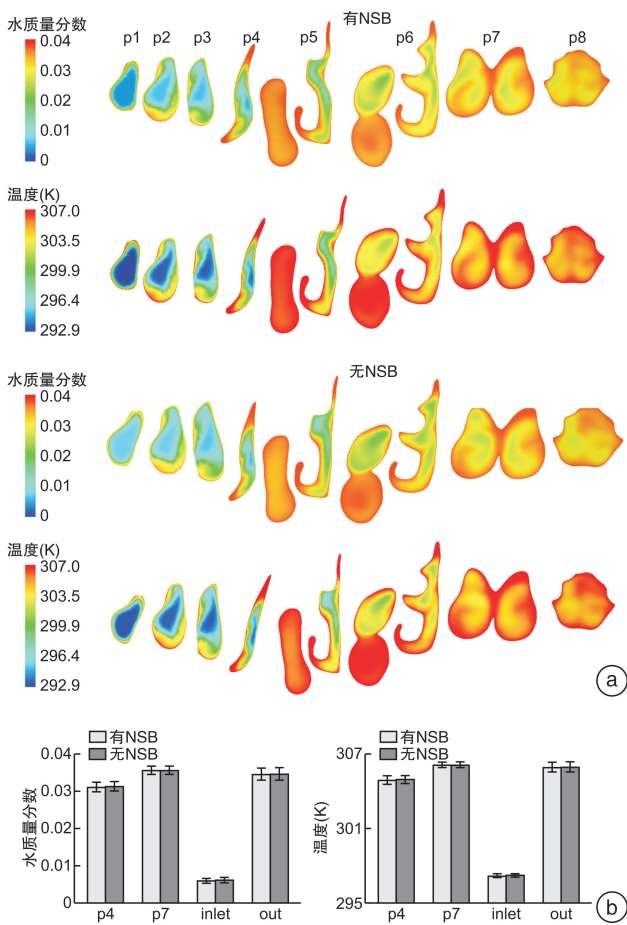
2.4 温湿度改变

从典型截面湿度、温度云图(图 7a)可以发现,相较于鼻腔入口舒适的温湿度,鼻前庭内由内向外温湿度升高,从 NSB 所在的 p4 平面到中鼻甲尾端 p6 平面,鼻腔上部和下部出现高温高湿区,中部温湿度则相对较低;位于鼻腔外侧的上颌窦内由内向外温湿度升高,鼻咽部的 p7~p8 平面内也表现出相同的趋势。此外,有无 NSB 时各截水质量分数和温度均未见明显改变,同时又对 p4、p6 和鼻腔出入口平面的温湿度(图 7b)进行统计学分析,发现有无 NSB 之间差异无统计学意义。



a: 有无 NSB 时鼻腔内流场的变化; b: 有无 NSB 时前后各个截面速度云图。

图 6 NSB 移除前后气流变化



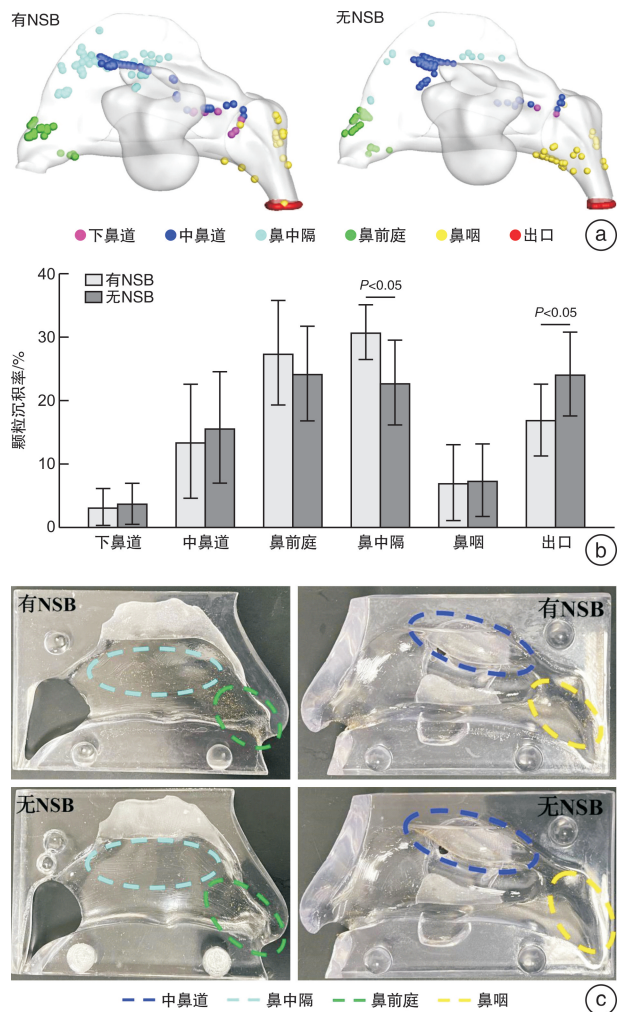
a: 不同模型中各截面的湿度和温度分布云图; b: 不同模型中各截面湿度和温度对比。

图 7 NSB 移除前后温湿度变化

### 2.5 变应原颗粒沉积

艾蒿花粉颗粒在有无 NSB 时鼻腔各部位的沉积模式,见图 8。采用不同颜色显示各个解剖部位中微粒的沉积情况。有 NSB 时,花粉颗粒主要沉积于中鼻道、鼻中隔、鼻前庭,沉积率分别为(13.59 ± 8.98)%、(30.70 ± 12.27)%、(27.45 ± 8.21)% ,进入下鼻道(17.00 ± 5.57)% ;无 NSB 时,与有 NSB 比较,花粉颗粒在鼻中隔沉积显著减少,沉积率为(22.79 ± 6.61)% ,从鼻咽出口进入下鼻道显著增加,沉积率为(24.12 ± 6.59)% ,差异均有统计学意义( $P=0.018, P=0.032$ ),而中鼻道、鼻前庭、下鼻道及鼻咽部颗粒沉积率与有 NSB 相比无明显变化,见图 8b。

使用 3D 打印鼻腔模型进行仿生实验(图 8c),定性观察可拆卸全透明鼻腔模型中各解剖部位中的颗粒沉积情况,发现无 NSB 时,花粉颗粒在鼻中隔沉积减少。



a: 有无 NSB 时艾蒿花粉在鼻腔内沉积模式图; b: 有无 NSB 时艾蒿花粉颗粒沉积对比图; c: 有无 NSB 时,艾蒿花粉在 3D 打印的左侧鼻中隔、鼻腔外侧壁模型中的沉积情况

图 8 NSB 移除前后变应原颗粒沉积情况

### 3 讨论

人们对 NSB 在鼻气流中的作用一直知之甚少。虽然 NSB 是由 Arslan 等(1662)首次提出<sup>[1]</sup>,先后经历了“鼻中隔前隆起”、“鼻中隔鼻甲”、“鼻膨胀体”等多个命名<sup>[5]</sup>,但文献中关于 NSB 的资料有限,主要集中在组织学和形态学上<sup>[20]</sup>。Wexler 等<sup>[5]</sup>研究表明 NSB 含有较多的静脉窦和较少的腺体,对组胺可以产生肿胀反应,对减充血剂可以产生收缩反应,推测 NSB 可能具有鼻气流和空气湿化的生理功能<sup>[5,7]</sup>。Setlur 等<sup>[21]</sup>分析了 NSB 与鼻中隔侧向性的关系,发现对侧鼻中隔偏曲的 NSB 显著大于同侧,Demirci 等<sup>[7]</sup>也得出相同结论。然而,NSB 包含鼻中隔软骨和骨,而不是一个单独的扩张性软组织。此外,NSB 类似于鼻甲,是一种动态结构,可以随着鼻周期发生大小和形状的改变<sup>[2,22]</sup>。因此,探究 NSB 生理功能对于验证 NSB 可改变鼻气流的假说具有重要价值。

Delank 等<sup>[23]</sup>报道 NSB 高度为 10.2 mm,单侧宽度为 6.5 mm,Dary 等<sup>[17]</sup>认为 NSB 长度为(28.4±3.5) mm,双侧宽度为(12.4±1.9) mm,结合表 1 中列举的 NSB 大小,上述结果与本研究结果大致相似。与朱杭军等<sup>[3]</sup>报道的我国南方健康人群的 NSB 结构比较,本研究纳入的我国西北地区健康人群左右径较宽,前后径较短,这可能意味着 NSB 结构也存在地域差异。然而,NSB 是一个可以随着鼻周期发生形变的动态结构。Hsu 等<sup>[24]</sup>强调,由于它靠近鼻内瓣,其肥大可以显著改变鼻气流和阻力;另一方面,在 AR、慢性鼻窦炎等慢性鼻腔鼻窦疾病中,NSB 也可以发生类似于下鼻甲肥大的黏膜变化,从而干扰鼻气流<sup>[25]</sup>。本研究中,切除 NSB 后鼻阻力未见明显降低,考虑这可能与本研究纳入的研究对象为健康成人,且其鼻部无任何鼻塞等不适有关。生理状态下 NSB 虽然对鼻阻力无明显影响,但它将鼻腔气流分为两部分,一部分朝向鼻道,一部分朝向窦口鼻道复合体,对于异常增生肥大的 NSB,它可能会加剧鼻内瓣到鼻腔的过渡,导致鼻阻力增加。

近年来诸多学者提出了对 NSB 进行手术干预。Moss 等<sup>[26]</sup>指出,NSB 是一个被忽视的手术靶点;Yu 等<sup>[6]</sup>提出对于下鼻甲肥大伴 NSB 肥大的患者,可同期行 NSB 缩小术,其疗效优于单纯行鼻甲手术;Catalano 等<sup>[27]</sup>采用射频消融术治疗 NSB 肥大患者,分别于术后 3、6 个月进行随访,发现其鼻塞症状得到改善。然而,一些学者对 NSB 的手术干预有不同的看法,认为在该特定区域的手术可能导致术后鼻感染和加温加湿改变<sup>[28]</sup>。本研究表明,生理状态下,NSB 对鼻腔加温加湿作用不大,但这一结构对 21 μm 的变应原微粒具有很好的阻隔作用,切除 NSB 后,鼻腔前端无膨胀结构,艾蒿

花粉随着气流的吸入可直接穿过鼻腔鼻道,通过鼻咽平面进入下气道,诱发气道过敏。Shi 等<sup>[29-31]</sup>多项研究表明,纤维素、花粉阻隔剂、鼻腔过滤器等屏障作用可显著减轻 AR 患者的鼻痒症状,提高患者的生活质量。本研究发现 NSB 同样具有阻隔花粉沉积的功能,且该处解剖位置较浅,保护此处的结构及黏膜屏障对于花粉阻隔可能具有较大意义。因此,临床上对于 NSB 的处理应该注意到这一点。当然,我们的研究中仅考虑了一种大小的微粒,NSB 结构对其他变应原颗粒的影响仍需要后续的研究去证实。

此外,本研究也具有以下局限性:①NSB 是一种动态结构,基于静态的影像学数据,并未考虑鼻周期动态分析其大小及对功能的影响;②纳入样本为 18~30 岁的西北地区健康成年人志愿者,儿童及老年人群值得进一步探究;③研究基于 CFD 模拟的空气动力学数据分析,假定鼻腔壁面恒温、恒湿、光滑、刚性、无滑移的,忽略了鼻毛、黏液及血管等对鼻腔内气流及颗粒的影响;④除上颌窦外,其余鼻窦未被纳入重建模型,这可能一定程度上影响了模拟结果;⑤仅考虑了稳态吸气条件,而运动、循环呼吸状态并未纳入考虑。因此,仍需要包含不同种族的多中心的体内、外研究设计,系统综合认识 NSB 这一重要的解剖结构。

### 4 结论

NSB 是一种有待认识的结构,需要进一步的研究来揭示其生理功能。首先,NSB 是一个三维结构,先前的研究测量了不同平面的数据试图呈现其三维特征,本研究在综合评估了其多个维度的大小后,发现 18~30 岁的健康成人,NSB 平均长度为 28.30 mm,单侧宽度为 6.45 mm,双侧宽度为 12.85 mm,正中距鼻尖 38.31 mm,距蝶窦面 38.52 mm,距鼻底 25.0 mm。其次,本研究借助计算流体力学,首次评估了有无 NSB 时健康成人鼻腔气流、鼻阻力、加温加湿、变应原颗粒沉积效率的变化并给出了初步量化的结果。研究结果发现健康鼻腔移除 NSB:①鼻气流分布发生轻度改变,而鼻阻力则无明显变化;②鼻腔加温和加湿功能无明显变化;③鼻中隔过滤艾蒿花粉功能减弱,可导致下气道艾蒿花粉变应原沉积增加。本研究为正确认识 NSB 对鼻腔的气流分布、空气湿化及变应原防护的影响提供了指导,为 NSB 的手术干预奠定了理论基础。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] Arslan M, Muderris T, Muderris S. Radiological study of the intumescencia septi nasi anterior[J]. J Laryngol Otol, 2004, 118(3):199-201.
- [2] Meng X, Zhu G. Nasal Septal Swell Body: A Distinc-

- tive Structure in the Nasal Cavity [J]. *Ear Nose Throat J*, 2021, 21: 1455613211010093.
- [3] 朱杭军, 张建东, 王玉海. 鼻中隔膨隆段的影像解剖测量[J]. *中国耳鼻咽喉头颈外科*, 2015, 22(9): 463-464.
- [4] Hizli O, Kayabasi S, Ozkan D. Is Nasal Septal Body Size Associated With Inferior Turbinate Hypertrophy and Allergic Rhinitis? [J]. *J Craniofac Surg*, 2020, 31(3): 778-781.
- [5] Wexler D, Braverman I, Amar M. Histology of the nasal septal swell body (septal turbinate) [J]. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2006, 134(4): 596-600.
- [6] Yu MS, Choi CH, Jung MS, et al. Correlation between septal body size and inferior turbinate hypertrophy on computerised tomography scans in fifty patients: A radiological analysis [J]. *Clin Otolaryngol*, 2018, 43(3): 952-955.
- [7] Demirci S, Ertan N, Tuzuner A, et al. Correlation Between the Septal Body and the Nasal Turbinates in Patients With Deviated Nasal Septum [J]. *J Craniofac Surg*, 2016, 27(1): 166-169.
- [8] 马婷婷, 王朝霞, 贺宁, 等. 北京地区葎草花粉致敏的特征分析[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2022, 36(1): 41-44, 50.
- [9] 张亚, 张璐瑶, 黄芬, 等. 艾蒿花粉在中国西北地区人群鼻腔沉积规律的数值模拟研究[J]. *中华耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2019, 54(10): 741-747.
- [10] Siu J, Dong J, Inthavong K, et al. Quantification of airflow in the sinuses following functional endoscopic sinus surgery [J]. *Rhinology*, 2020, 58(3): 257-265.
- [11] Tretiakow D, Tesch K, Markiet K, et al. Maxillary sinus aeration analysis using computational fluid dynamics [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 10376.
- [12] Ma R, Wang Y, Tian L, et al. Quantification of Artemisia pollen deposition in the paranasal sinuses following functional endoscopic sinus surgery [J]. *Powder Technology*, 2023, 419: 118318.
- [13] Tian L, Shang Y, Chen R, et al. Correlation of regional deposition dosage for inhaled nanoparticles in human and rat olfactory [J]. *Part Fibre Toxicol*, 2019, 16(1): 6.
- [14] Zhang Y, Shang Y, Inthavong K, et al. Computational investigation of dust mite allergens in a realistic human nasal cavity [J]. *Inhal Toxicol*, 2019, 31(6): 224-235.
- [15] Inthavong K, Shang Y, Del Gaudio JM, et al. Inhalation and deposition of spherical and pollen particles after middle turbinate resection in a human nasal cavity [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2021, 294: 103769.
- [16] 马瑞萍, 郑国玺, 鄂殿玉, 等. 基于3D打印透明鼻腔模型的鼻阻力变化规律研究[J]. *临床耳鼻咽喉头颈外科杂志*, 2021, 35(12): 1101-1106.
- [17] Costa DJ, Sanford T, Janney C, et al. Radiographic and anatomic characterization of the nasal septal swell body [J]. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*, 2010, 136(11): 1107-1110.
- [18] Kelly JT, Asgharian B, Kimbell JS, et al. Particle deposition in human nasal airway replicas manufactured by different methods. Part I: Inertial regime particles [J]. *Aerosol science and technology*, 2004, 38(11): 1063-1071.
- [19] Shi H, Kleinstreuer C, Zhang Z. Modeling of inertial particle transport and deposition in human nasal cavities with wall roughness [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2007, 38(4): 398-419.
- [20] Wotman M, Kacker A. Should otolaryngologists pay more attention to nasal swell bodies? [J]. *Laryngoscope*, 2015, 125(8): 1759-1760.
- [21] Setlur J, Goyal P. Relationship between septal body size and septal deviation [J]. *Am J Rhinol Allergy*, 2011, 25(6): 397-400.
- [22] Patrascu E, Budu V, Musat G. Nasal swell body: a literature review [J]. *Romanian Journal of Rhinology*, 2020, 10(37): 19-23.
- [23] Delank KW, Keller R, Stoll W. Morphologie und rhinologische Bedeutung der Intumescencia septi nasi anterior [Morphology and rhinologic importance of intumescencia septi nasi anterior] [J]. *Laryngorhinootologie*, 1993, 72(5): 242-246.
- [24] Hsu DW, Suh JD. Anatomy and Physiology of Nasal Obstruction [J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2018, 51(5): 853-865.
- [25] E Gelera J, Ojar D, Lim JH, et al. Radiographic Changes of the Nasal Septal Body Among Patients With Sinonasal Diseases [J]. *Clin Exp Otorhinolaryngol*, 2017, 10(4): 338-343.
- [26] Moss WJ, Faraji F, Jafari A, et al. A systematic review of the nasal septal turbinate: An overlooked surgical target [J]. *Am J Otolaryngol*, 2019, 40(6): 102188.
- [27] Catalano P, Ashmead M, Carlson D. Radiofrequency ablation of septal swell body [J]. *Ann Otolaryngol Rhinol*, 2015, 2(11): 1069.
- [28] Farmer SE, Quine SM, Eccles R. Efficacy of inferior turbinate coblation for treatment of nasal obstruction [J]. *J Laryngol Otol*, 2009, 123(3): 309-314.
- [29] Chen X, Deng C, Mi J, et al. Barrier Protection Measures for the Management of Allergic Rhinitis: A Systematic Review and Meta-analysis [J]. *Am J Rhinol Allergy*, 2020, 34(4): 564-572.
- [30] Sirin Kose S, Atakul G, et al. Efficacy of allergen-blocker mechanical barrier gel on symptoms and quality of life in patients with allergic rhinitis [J]. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2019, 276(3): 729-734.
- [31] Popov TA, Aberg N, Emberlin J, et al. Methyl-cellulose powder for prevention and management of nasal symptoms [J]. *Expert Rev Respir Med*, 2017, 11(11): 885-892.