·论著·

鼻腔扩容术对阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征患者的疗效及其对上气道流场的影响

刘珊，阎艾慧，姜菲菲
（中国医科大学附属第一医院耳鼻咽喉头颈外科，沈阳 110001）

摘要 **目的** 探讨鼻腔扩容术对阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征（OSAHS）患者的疗效及其对上气道流场的影响。**方法** 选取2023年1月至2024年3月间中国医科大学附属第一医院收治的OSAHS患者70例，根据治疗方案分为联合治疗组（行中鼻道双侧鼻窦对称开放术联合鼻中隔三线减张成形术及双下甲外移固定术）和单纯治疗组（行鼻中隔三线减张成形术及双下甲外移固定术），每组35例。对比2组患者手术前后多导睡眠监测、鼻阻力、鼻声反射、主观症状及上气道流场变化情况。**结果** 鼻腔扩容术显著改善了OSAHS患者的临床主观症状和鼻通气功能，并对轻中度OSAHS患者的多导睡眠监测结果有积极影响（均$P < 0.05$）。计算流体力学数值模拟显示，鼻腔扩容术能降低鼻腔整体压力，使鼻腔整体气流流速更加平缓均匀，同时降低咽腔整体压力。联合治疗组在鼻声反射及中鼻道局部截面气流速度分布方面表现优于单纯治疗组，且鼻声反射结果的差异有统计学意义（$P < 0.05$）。**结论** 鼻腔扩容术通过解除上气道异常解剖结构，实现气流重新分布，降低鼻腔阻力，减轻咽腔压力负荷，从而有效改善OSAHS患者的主客观症状。

关键词 鼻腔扩容术；阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征；计算流体力学；鼻阻力；鼻声反射
中图分类号 R765.9 **文献标志码** A **文章编号** 0258-4646(2026)10-0934-06
网络出版地址 https://link.cnki.net/urlid/21.1227.R.20261020.1216.002
DOI：10.12007/j.issn.0258-4646.2026.10.012

Effect of nasal cavity ventilation expansion surgery on clinical outcomes and upper airway flow dynamics in patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome

LIU Shan，YAN Aihui，JIANG Feifei
（Department of Otorhinolaryngology & Head and Neck Surgery，The First Hospital of China Medical University，Shenyang 110001，China）

Abstract **Objective** To investigate the therapeutic outcomes of nasal cavity ventilation expansion surgery，and its effects on upper airway flow dynamics in patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome（OSAHS）. **Methods** Seventy patients with OSAHS admitted to The First Hospital of China Medical University between January 2023 and March 2024 were enrolled. Patients were assigned to one of two groups based on treatment protocol：the combined treatment group（$n = 35$）underwent bilateral middle meatus sinus symmetric opening surgery with septal three-line tension resection，and the simple treatment group（$n = 35$）underwent nasal septal three-line tension resection. Polysomnography，nasal airway resistance，acoustic rhinometry，subjective symptoms，and changes in upper airway flow dynamics，pre- and post-surgery，were compared between the two groups. **Results** Nasal cavity ventilation expansion surgery resulted in significant improvement of subjective clinical symptoms and nasal ventilation function in patients with OSAHS，and it had a positive effect on the polysomnography results of patients with mild-to-moderate OSAHS（all $P < 0.05$）. The numerical simulation of computational fluid dynamics showed that nasal cavity ventilation expansion surgery resulted in reduced overall pressure of the nasal cavity，making the overall airflow velocity of the nasal cavity smoother and more uniform，while simultaneously reducing the overall pressure of the pharyngeal cavity. The combined treatment group had superior outcomes in acoustic rhinometry and airflow velocity distribution in the local cross-section of the middle meatus compared to the simple treatment group，with a statistically significant difference in acoustic rhinometry（$P < 0.05$）. **Conclusion** Nasal cavity ventilation expansion surgery redistributes airflow by eliminating abnormal anatomical structures in the upper airway，thereby reducing nasal airway resistance and alleviating the pressure load on the pharynx. This effectively improved the subjective and objective symptoms in patients with OSAHS.

Keywords nasal cavity ventilation expansion surgery；obstructive sleep apnea hypopnea syndrome；computational fluid dynamics；nasal airway resistance；acoustic rhinometry

鼻腔扩容术的核心在于构建对称性通气空间以及空气动力学优化[1]。该术式通过矫正鼻腔的异常结构，扩大通气容积，改善上气道通气障碍，恢复鼻腔的对称通气功能[2]，为阻塞性睡眠呼吸暂停

作者简介：刘珊（1999-），女，医师，硕士.
通信作者：阎艾慧，E-mail：yah567@sina.com
收稿日期：2026-01-26
网络出版时间：2026-10-20 16:03:52

低通气综合征(obstructive sleep apnea hypopnea syndrome,OSAHS)的治疗提供了新的思路,并通过外科干预策略实现了从“形态矫正”到“功能重建”的转变。本研究运用计算流体力学(computational fluid dynamics,CFD)技术构建了鼻腔扩容术前后的上气道模型,分析外科治疗对OSAHS患者上气道流场的影响,并探讨了中鼻道双侧鼻窦对称开放术联合鼻中隔三线减张成形术与单纯鼻中隔三线减张成形术在改善上气道流场方面的差异,回顾性分析了患者术前及术后6个月的睡眠呼吸监测、鼻通气功能等临床资料,评估了手术的临床疗效。

1　材料与方法

1.1　研究对象

回顾性分析2023年1月至2024年3月间于我科接受鼻腔扩容术的70例OSAHS患者的临床资料。收集所有患者人口学资料及术前、术后6个月的临床数据。纳入标准:主诉打鼾伴鼻塞;符合OSAHS诊疗指南标准[3];存在显著中鼻道狭窄解剖结构,如泡状中甲、反张中鼻甲、中鼻甲肥大、钩突增生或筛泡过度发育等。排除标准:极重度口咽部阻塞特征(如扁桃体3度及以上肿大,Mallampati评分3级及以上,口腔颌面部畸形等);鼻息肉;鼻外伤;既往接受呼吸机治疗或口咽部手术等OSAHS系统治疗者。

根据治疗方案,将患者分为联合治疗组(行中鼻道双侧鼻窦对称开放术联合鼻中隔三线减张成形术及双下甲外移固定术)和单纯治疗组(行鼻中隔三线减张成形术及双下甲外移固定术),每组35例。根据呼吸暂停低通气指数(apnea-hypopnea index,AHI),将OSAHS患者分为轻度组(AHI 5~15次/h,11例)、中度组(AHI>15~30次/h,18例)、重度组(AHI>30次/h,41例)[3]。本研究获得中国医科大学附属第一医院医学科学研究伦理委员会批准([2024]894号)。所有患者知情同意。

1.2　研究方案

1.2.1　临床主观症状评估:采用鼻阻塞症状评估量表(nose symptom assessment scale,NOSE)、埃普沃斯嗜睡量表(Epworth sleepiness scale,ESS)、视觉模拟量表(visual analogue scale,VAS)进行评估,并由同室睡眠者评价鼾声。

1.2.2　临床客观评价指标:(1)多导睡眠图(polysomnogram,PSG)监测,记录AHI和最低血氧饱和度(lowest oxygen saturation,$LSaO_2$);(2)鼻阻力(nasal airway resistance,NAR)测定,采用4项鼻测压法测量整个呼吸阶段的总有效阻力;(3)鼻声反射测量,记录单侧鼻腔最小截面积(nasal minimum cross-sectional area,NMCA)和0~7 cm处的鼻腔容积(nasal cavity volume,NCV)。

1.2.3　鼻腔空气动力学数值模拟分析:基于术前及术后6个月鼻咽3维CT影像,遵循以下CFD流程,对上气道吸气期的流场特性进行数值模拟。首先,将DICOM格式的CT图像导入Mimics21.0,构建上气道三维几何模型,运用Geomagic Wrap 2021对该模型进行分割平滑校正等预处理,优化几何质量,并消除模型缺陷。然后,将处理后的模型导入ANSYS Workbench 2022R1中的Meshing模块,对整个计算域进行非结构化网格划分,为平衡计算精度和效率,采用四面体单元对复杂的上气道结构进行离散。最后,将生成的网格模型导入Fluent求解器,选用湍流模型进行稳态计算。边界条件设置以模拟人类平静自然呼吸状态为目标:将两侧鼻孔定义为压力入口,其静压值设为标准大气压;咽腔出口平面设定为速度出口,通过给定恒定流速,使其对应于500 mL/s的生理流量;同时将所有鼻腔及咽腔壁面定义为无滑移边界。计算收敛后运用CFD-Post对模拟结果进行后处理,提取压力、流速等流场可视化结果。

1.3　治疗方法

对患者行气管插管全身麻醉后,取平卧位。联合治疗组患者进行鼻中隔三线减张成形术切除偏曲鼻中隔软骨,达到偏曲复位效果;根据患者鼻甲大小及形状,进行双下甲外移固定术,外移双侧肥大的下鼻甲;进行中鼻道双侧鼻窦对称开放术,切除双侧钩突,对称开放筛泡及前后筛窦,开放双侧上颌窦自然口[4]。单纯治疗组患者仅进行鼻中隔三线减张成形术及双下甲外移固定术。所有手术由同一团队完成。

1.4　统计学分析

采用SPSS 27.0软件和R软件(4.4.1)进行统计学分析。计数资料采用率(%)表示,组间比较采用χ^2检验(或Fisher确切概率法);符合正态分布的计量资料以$\bar{x} \pm s$表示,组间比较采用独立样本t检验,组内手术前后比较采用配对样本t检验;非正态分布的计量资料以$M(P_{25}\sim P_{75})$表示,组间比较采用

Mann-Whitney U检验。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　临床资料比较

70例OSAHS患者中，轻、中、重度患者分别占比15.71%（11/70）、25.71%（18/70）和58.57%（41/70）。联合治疗组患者中，轻度4例（11.43%）、中度8例（22.86%）、重度23例（65.71%）；单纯治疗组患者中，轻度7例（20.00%）、中度10例（28.57%）、重度18例（51.43%）。联合治疗组和单纯治疗组年龄、性别、体重指数、NAR、NMCA和NCV等基线资料比较无统计学差异（$P>0.05$），具有可比性。见表1。

表1　70例患者人口统计学数据及临床特征

Tab.1　Demographic data and clinical characteristics of 70 patients

Item	Simple treatment group (n = 35)	Combined treatment group (n = 35)	Total (n = 70)	$\chi^2/t/Z$	P
Sex [n (%)]				0.070	0.791
Male	26 (74.29)	24 (68.57)	50 (71.43)		
Female	9 (25.71)	11 (31.43)	20 (28.57)		
Age (year)	38.00 ± 11.27	39.97 ± 8.76	39.04 ± 10.07	0.770	0.444
BMI (kg/m^2)	26.95 ± 1.67	27.49 ± 2.05	27.22 ± 1.87	1.209	0.231
NAR (kPa·s/L)	1.20 (1.02–1.29)	1.26 (1.11–1.30)	1.25 (1.05–1.30)	–1.175	0.242
NMCA (cm^2)	0.45 (0.37–0.50)	0.50 (0.43–0.55)	0.48 (0.41–0.54)	–0.546	0.074
NCV (cm^3)	6.72 (6.32–8.09)	7.01 (6.51–7.47)	6.85 (6.43–7.77)	–1.792	0.589
OSAHS severity [n (%)]				1.650	0.438
Mild	7 (20.00)	4 (11.43)	11 (15.71)		
Moderate	10 (28.57)	8 (22.86)	18 (25.71)		
Severe	18 (51.43)	23 (65.71)	41 (58.57)		

BMI, body mass index; NAR, nasal airway resistance; NMCA, nasal minimum cross-sectional area; NCV, nasal cavity volume.

2.2　PSG监测结果比较

轻度组和中度组患者术后AHI显著下降，$LSaO_2$显著提高（$P<0.05$），但中度组AHI未降至正常范围，仍可诊断为OSAHS；而重度组患者术后AHI和$LSaO_2$虽有所改善，但无统计学差异（$P>0.05$）。

单纯治疗组术后AHI、$LSaO_2$改善，但差异无统计学意义（$P>0.05$）；联合治疗组术后AHI降低，$LSaO_2$升高，但差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表2。

2.3　鼻功能检查结果比较

联合治疗组与单纯治疗组术后NAR较术前显著降低，NMCA、NCV显著增加（$P<0.05$）。联合治疗组术后NMCA、NCV大于单纯治疗组（$P<0.05$）；但2组总NAR降低无显著差异（$P>0.05$）。见表3。

2.4　临床主观症状评分比较

联合治疗组和单纯治疗组术后NOSE评分、ESS评分及VAS评分均较术前显著降低（均$P<0.001$），但2组间比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表4。

2.5　鼻腔空气动力学数值模拟分析

鼻腔扩容术后鼻腔壁面剪切力及整体压力显著降低，且压力梯度更平缓，鼻腔整体气流流速减低，气体流速分布更均匀，咽腔整体压力降低，但部分重度OSAHS患者局部压力有所增加。联合治疗组中，术前鼻腔气流主要分布在总鼻道和下鼻道区域，中鼻道双侧鼻窦对称开放术拓宽了中鼻道，术后气流重新分布，拓宽的中鼻道流线增多，且局部流速降低。单纯治疗组中，鼻道气流虽也有增加，但较联合治疗组改善不显著。见图1、图2。

3　讨论

OSAHS与心脑血管慢性疾病形成恶性循环[5-6]，建立“鼻腔通气阻力–睡眠呼吸障碍–全身性疾病”的链条模型，可将鼻腔扩容技术从症状治疗提升为呼吸健康管理的一环。目前，OSAHS在临床上具有高患病率、低干预率及弱依从性特征，早期诊断与系统性干预治疗有重要意义。鼻腔狭窄是上气道阻

塞源头性致病因素[7],随着对OSAHS发病机制研究的深入以及鼻内镜外科技术的成熟,鼻腔扩容术成为治疗伴有鼻腔结构异常的OSAHS的有效方式之一。

表2　不同分组OSAHS患者手术前后PSG参数的比较

Tab.2　Comparison of PSG parameters before and after surgery in patients of different groups

Group	Preoperation	Postoperation	t	P
Mild OSAHA group				
AHI (times/h)	10.81 ± 2.33	4.91 ± 1.33	7.302	<0.001
$LSaO_2$ (%)	86.55 ± 2.42	93.27 ± 2.94	−5.861	<0.001
Moderate OSAHS group				
AHI (times/h)	23.17 ± 3.75	17.89 ± 4.79	3.678	<0.001
$LSaO_2$ (%)	82.67 ± 2.57	85.78 ± 3.77	−2.896	0.007
Severe OSAHS group				
AHI (times/h)	52.37 ± 9.19	49.25 ± 9.72	1.493	0.096
$LSaO_2$ (%)	73.93 ± 4.42	77.61 ± 3.63	−1.317	0.193
Combined treatment group				
AHI (times/h)	40.63 ± 18.16	37.63 ± 18.80	0.678	0.431
$LSaO_2$ (%)	76.54 ± 6.76	81.23 ± 6.79	−1.774	0.084
Simple treatment group				
AHI (times/h)	36.06 ± 19.27	30.80 ± 20.90	1.292	0.198
$LSaO_2$ (%)	79.77 ± 5.67	83.11 ± 7.00	−1.929	0.054

AHI, apnea-hypopnea index; $LSaO_2$, lowest oxygen saturation.

表3　联合治疗组与单纯治疗组手术前后鼻阻力及鼻声反射的比较

Tab.3　Comparison of nasal airway resistance and acoustic rhinometry in the combined treatment group and simple treatment group before and after surgery

Parameter	Combined treatment group		Simple treatment group	
	Preoperation	Postoperation	Preoperation	Postoperation
NMCA (cm^2)	0.50 (0.43–0.55)	0.72 (0.69–0.77) [1),2)]	0.45 (0.37–0.50)	0.68 (0.65–0.75) [1)]
NCV (cm^3)	7.01 (6.51–7.47)	14.88 (13.97–16.31) [1),2)]	6.72 (6.32–8.09)	13.72 (12.75–14.88) [1)]
NAR (kPa·s/L)	1.26 (1.11–1.30)	0.50 (0.39–0.66) [1)]	1.20 (1.02–1.29)	0.54 (0.41–0.69) [1)]

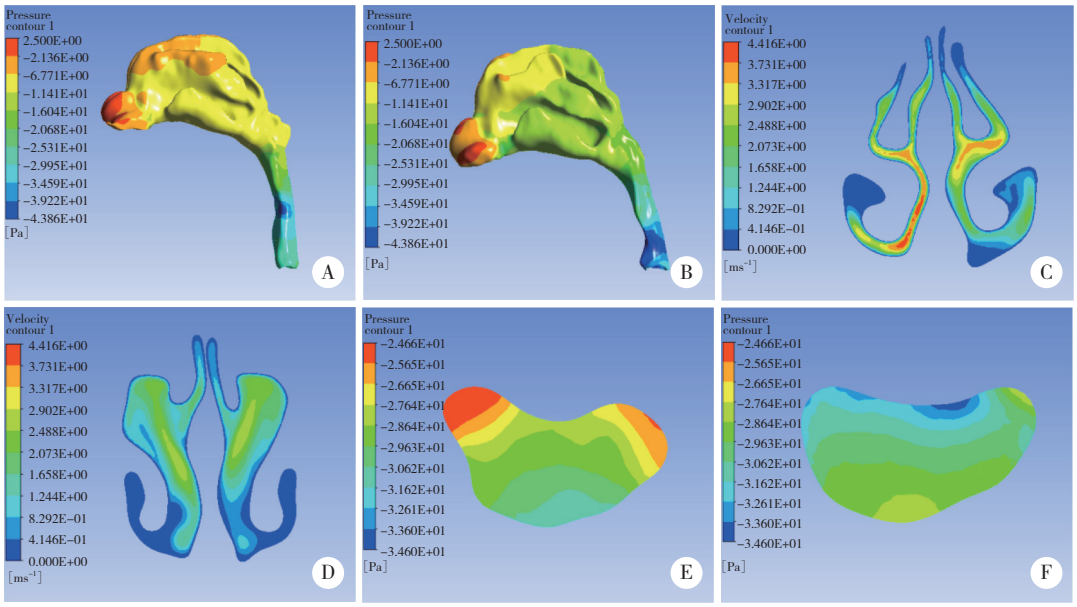
1) $P < 0.05$ for intragroup comparison; 2) $P < 0.05$ for intergroup comparison. NAR, nasal airway resistance; NMCA, nasal minimum cross-sectional area; NCV, nasal cavity volume.

表4　联合治疗组和单纯治疗组手术前后临床主观症状评分比较

Tab.4　Comparison of clinical subjective symptom scores in the combined treatment group and simple treatment group before and after surgery

Group	Preoperation	Postoperation	Z	P
Combined treatment group				
NOSE	45.0 (40.0–60.0)	15.0 (10.0–20.0)	6.725	<0.001
ESS	12.0 (9.0–16.0)	6.0 (3.5–7.0)	5.802	<0.001
VAS	7.0 (6.0–8.0)	3.0 (2.5–4.5)	6.381	<0.001
Simple treatment group				
NOSE	50.0 (37.5–60.0)	15.0 (10.0–20.0)	6.628	<0.001
ESS	11.0 (9.0–13.5)	7.0 (4.5–7.0)	6.506	<0.001
VAS	7.0 (5.5–8.5)	4.0 (3.5–5.0)	4.996	<0.001

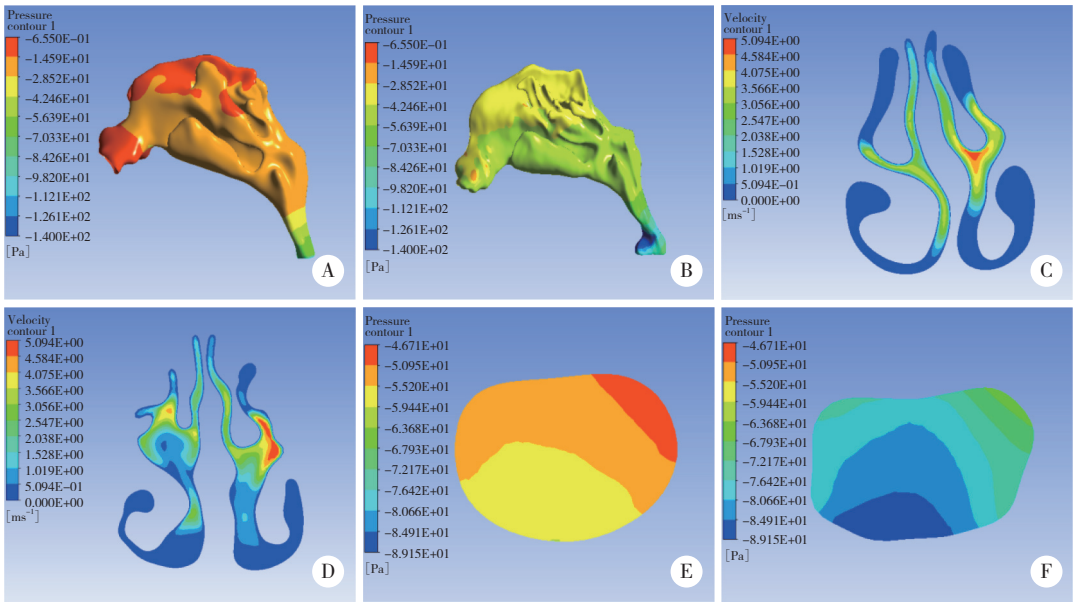
NOSE, nose symptom assessment scale; ESS, Epworth sleepiness scale; VAS, visual analogue scale.



A, preoperative overall nasal pressure contour; B, postoperative overall nasal pressure contour; C, preoperative local cross-sectional airflow distribution velocity contour of the middle nasal meatus; D, postoperative local cross-sectional airflow distribution velocity contour of the middle nasal meatus; E, preoperative pharyngeal cavity pressure contour; F, postoperative pharyngeal cavity pressure contour.

图1　联合治疗组手术前后空气动力学数值模拟分析

Fig.1　Aerodynamic numerical simulation analysis before and after surgery in the combined treatment group



A, preoperative overall nasal pressure contour; B, postoperative overall nasal pressure contour; C, preoperative local cross-sectional airflow distribution velocity contour of the middle nasal meatus; D, postoperative local cross-sectional airflow distribution velocity contour of the middle nasal meatus; E, preoperative pharyngeal cavity pressure contour; F, postoperative pharyngeal cavity pressure contour.

图2　单纯治疗组手术前后空气动力学数值模拟分析

Fig.2　Aerodynamic numerical simulation analysis before and after surgery in the simple treatment group

PSG监测是OSAHS客观诊断及衡量手术效果的金标准[8]，AHI和$LSaO_2$是评估病情严重程度的最常用指标。目前对鼻腔手术改善AHI有效性的研究[9-11]结论并不一致。本研究结果符合大多数学者对OSAHS患者鼻部手术疗效的判断，即鼻腔扩容术对轻、中度OSAHS患者影响较大，术后AHI显著下降，$LSaO_2$显著提高（$P < 0.05$）；对重度OSAHS患者作用有限，PSG监测指标虽有所改善，但差异无统计学

意义（$P>0.05$）。可能是重度患者常合并上气道多平面阻塞，因此单纯鼻腔手术通常需要联合其他手术，以实现多平面阻塞的序贯化处理，从而提升整体治疗效果。

鼻腔扩容术在改善OSAHS患者主观症状和客观鼻功能指标方面均呈现良好疗效[12]。本研究中，患者术后NOSE、ESS及VAS评分均较术前显著降低，表明鼻腔扩容术能有效缓解OSAHS患者鼻塞及打鼾症状，改善睡眠质量及日间功能状态。手术虽可减轻大部分重度患者鼻塞和日间嗜睡状况，但少部分患者鼾声强度改善不明显，可能与合并咽腔狭窄而更多气流冲击塌陷软腭有关。该系列手术能够降低NAR，增加NMCA及NCV，联合治疗组在改善NCV和NMCA方面更具优势，提示中鼻道双侧鼻窦对称开放术能优化鼻腔气流分布，改善上气道通气功能。

本研究构建了上气道三维模型，并结合CFD数值模拟分析术后空气动力学的变化，结果显示，术后鼻腔整体压力降低，气流流速减缓，咽腔整体压力降低；联合治疗组术后中鼻道区域气流分布更优，局部流速更均衡、更缓和；部分中、重度患者局部咽腔压力升高，可能是因其咽腔为上气道最狭窄之处，咽腔塌陷现象仍存在[13]。对于存在显著中鼻道解剖结构狭窄的患者，联合治疗组可解除狭窄，使中鼻道气流重分布，术后上气道流场改善更为显著。鼻腔扩容术属于个体化术式，术前应用CFD数值模拟技术有助于明确个性化手术方案，提升预后效果[14]。

综上所述，本研究深入探究了鼻腔扩容术治疗OSAHS的疗效和作用机制，从多维度全面评估疗效，借助CFD数值模拟技术揭示其改善上气道通气功能的机制，准确反映了手术对鼻腔通气和上气道气流分布的影响，为术前评估和制定个性化治疗方案提供了有力支撑。

参考文献：

[1] 韩德民. 鼻内镜外科技术新热点[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志，2009，44（6）：441-443. DOI：10.3760/cma.j.issn.1673-0860.2009.06.001.

[2] Han D M，Zhang L. Nasal cavity ventilation expansion techniques[J]. Acta Otolaryngol，2011，131（12）：1244-1248. DOI：10.3109/00016489.2011.615760.

[3] 中国成人阻塞性睡眠呼吸暂停诊断和外科治疗指南制订工作组，中华医学会耳鼻咽喉头颈外科学分会，中华耳鼻咽喉头颈外科杂志编辑委员会，等. 成人阻塞性睡眠呼吸暂停诊断和外科治疗指南（2024）[J]. 中华耳鼻咽喉头颈外科杂志，2025，60（7）：716-758. DOI：10.3760/cma.j.cn115330-20250308-00133.

[4] 韩德民. 鼻内镜外科学[M]. 2版. 北京：人民卫生出版社，2012：262-263.

[5] Alterki A，Abu-Farha M，Al Shawaf E，et al. Investigating the relationship between obstructive sleep apnoea，inflammation and cardio-metabolic diseases[J]. Int J Mol Sci，2023，24（7）：6807. DOI：10.3390/ijms24076807.

[6] Mohamed B，Yarlagadda K，Self Z，et al. Obstructive sleep apnea and stroke：determining the mechanisms behind their association and treatment options[J]. Transl Stroke Res，2024，15（2）：239-332. DOI：10.1007/s12975-023-01123-x.

[7] Pang K P，Cheong R C T，Lim J W，et al. Nasal surgery is pivotal，not primary，in OSA surgery–a 25-year evidence based systematic review[J]. Eur Arch Otorhinolaryngol，2025，282（12）：6049-6055. DOI：10.1007/s00405-025-09553-z.

[8] Guo J W，Xiao Y. New metrics from polysomnography：precision medicine for OSA interventions[J]. NSS，2023，15：69-77. DOI：10.2147/nss.s400048.

[9] Park D Y，Cho J H，Jung Y G，et al. Clinical practice guideline：clinical efficacy of nasal surgery in the treatment of obstructive sleep apnea[J]. Clin Exp Otorhinolaryngol，2023，16（3）：201-216. DOI：10.21053/ceo.2022.01361.

[10] Callander J K，Chang J L. Treatment of the nose for patients with sleep apnea[J]. Otolaryngol Clin N Am，2024，57（3）：491-500. DOI：10.1016/j.otc.2023.11.002.

[11] Wu J，He S，Li Y C，et al. Evaluation of the clinical efficacy of nasal surgery in the treatment of obstructive sleep apnoea[J]. Am J Otolaryngol，2022，43（1）：103158. DOI：10.1016/j.amjoto.2021.103158.

[12] Correa E J，Conti D M，Moreno-Luna R，et al. Role of nasal surgery in adult obstructive sleep apnea：a systematic review[J]. Sleep Sci，2024，17（3）：e310-e321. DOI：10.1055/s-0044-1782527.

[13] 臧洪瑞，李立锋，张罗，等. 鼻腔扩容术对上气道流场特征的影响[J]. 中国耳鼻咽喉头颈外科，2015，22（11）：548-553. DOI：10.16066/j.1672-7002.2015.11.003.

[14] Burgos M A，Rosique L，Piqueras F，et al. Reducing variability in nasal surgery outcomes through computational fluid dynamics and advanced 3D virtual surgery techniques[J]. Heliyon，2024，10（5）：e26855. DOI：10.1016/j.heliyon.2024.e26855.

（编辑　王又冬）