



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250235  
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250235  
China Journal of General Surgery, 2025, 34(11):2342-2350.

· 专题研究 ·

## 混合现实辅助胸骨后甲状腺肿手术的可行性与安全性分析： 附29例报告

孙鹏<sup>1,2</sup>, 柯逸凡<sup>1</sup>, 张鹏<sup>1</sup>, 邬杰忠<sup>1</sup>, 黄泽楠<sup>1</sup>, 胡昆鹏<sup>1</sup>

(1. 中山大学附属第三医院 甲状腺乳腺外科, 广东 广州 510000; 2. 广东省潮州市中心医院 胸心外科, 广东 潮州 521000)

### 摘要

**背景与目的:** 混合现实 (MR) 技术可在真实手术场景中叠加三维 (3D) 影像, 为术者提供增强的解剖理解与导航信息, 但其在胸骨后甲状腺肿 (SSG) 手术中的应用仍缺乏证据。本研究旨在评估 MR 辅助 SSG 手术的可行性、安全性及潜在临床价值。

**方法:** 回顾性纳入 2024 年 5 月—12 月在中山大学附属第三医院接受 MR 辅助 SSG 手术的 29 例患者。MR 的应用流程包括 3D 重建、全息可视化以及设备部署三个阶段: 首先, 将患者的颈部增强 CT 导入 3D Slicer, 进行半自动 3D 重建; 随后在 Unity3D 中结合混合现实工具包 (MRTK) 完成重建模型的全息化处理; 最终将生成的全息模型部署至 HoloLens 2, 以便术者在围手术期调阅和操作。系统收集患者的临床特征、手术相关指标、术后并发症以及 MR 的实际使用情况, 并进行描述性分析。

**结果:** 29 例患者中位甲状腺体积 71.49 (49.4~113.52) cm<sup>3</sup>。手术方式包括单侧切除 13 例、双侧切除 16 例, 甲状旁腺自体移植 8 例, 3 例接受腔镜手术。中位手术时间 145 (117.5~161) min, 估计出血量 10 (10~15) mL。术后仅 2 例 (6.9%) 出现暂时性甲状旁腺功能减退, 无永久性损伤、喉返神经损伤、出血等并发症及复发。3D 重建、全息可视化及 MR 使用分别耗时约 60~90 min、15~20 min 和 10~20 min。共有 6 例出现短暂显示失真或延迟, 未见相关不良反应。多数术者认为 MR 有助于术前规划与术中空间定位, 但受光照和设备性能限制。

**结论:** MR 辅助 SSG 手术具有良好的可行性和安全性, 可增强手术评估与操作的直观性, 为提高手术效率和安全性提供潜力。其在头颈外科中的应用值得进一步探索。未来需通过更大规模的前瞻性随机对照试验验证其临床价值。

### 关键词

甲状腺肿, 胸骨后; 甲状腺切除术; 增强现实; 头戴式显示器  
中图分类号: R653.2

## Feasibility and safety analysis of mixed reality-assisted surgery for substernal goiter: a report of 29 cases

SUN Peng<sup>1,2</sup>, KE Yifan<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>1</sup>, WU Jiezhong<sup>1</sup>, HUANG Zenan<sup>1</sup>, HU Kunpeng<sup>1</sup>

(1. Department of Thyroid and Breast Surgery, the Third Affiliated Hospital of Sun-Yat Sen University, Guangzhou 510000, China;  
2. Department of Cardiothoracic Surgery, Chaozhou Central Hospital, Chaozhou, Guangdong 521000, China)

**基金项目:** 广东省广州市科技计划基金资助项目 (2024A03J0986); 广东省基础与应用基础研究基金资助项目 (2024A1515220166); 中山大学附属第三医院与潮州市中心医院联合基金资助项目 (LH202209)。

**收稿日期:** 2025-04-23; **修订日期:** 2025-06-03。

**作者简介:** 孙鹏, 中山大学附属第三医院博士后, 主要从事甲状腺临床方面的研究 (柯逸凡为共同第一作者)。

**通信作者:** 胡昆鹏, Email: hukpeng@mail.sysu.edu.cn

**Abstract**

**Background and Aims:** Mixed reality (MR) enables real-time visualization of three-dimensional (3D) anatomical models within the operative field, potentially enhancing surgical planning and intraoperative navigation. However, its application in substernal goiter (SSG) surgery has not been reported. This study aimed to evaluate the feasibility, safety, and clinical utility of MR-assisted SSG resection.

**Methods:** A total of 29 patients who underwent MR-assisted surgery for SSG at Lingnan Hospital of the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University between May and December 2024 were retrospectively included. The MR workflow consisted of three sequential stages: 3D reconstruction, holographic visualization, and device deployment. First, contrast-enhanced cervical CT images were imported into 3D Slicer for semi-automatic three-dimensional reconstruction. The reconstructed models were then processed in Unity3D using the Mixed Reality Toolkit to generate holographic visualizations. Finally, the holographic models were deployed to the HoloLens 2 head-mounted display for perioperative review and manipulation by the surgeon. Clinical characteristics, operative parameters, postoperative complications, and MR usage details were systematically collected and descriptively analyzed.

**Results:** The median thyroid volume was 71.49 (49.4–113.52) cm<sup>3</sup>. Thirteen patients underwent unilateral thyroidectomy, 16 underwent bilateral resection, and 8 underwent parathyroid autotransplantation; 3 procedures were endoscopic. The median operative time was 145 (117.5–161) min, with an estimated blood loss of 10 (10–15) mL. Only two patients (6.9%) developed transient hypoparathyroidism, with no permanent complications, recurrent laryngeal nerve injury, postoperative bleeding, or recurrence observed. Reconstruction, holographic processing, and MR application required approximately 60–90 min, 15–20 min, and 10–20 min, respectively. Display distortion or latency occurred in six cases, without device-related adverse effects. Most surgeons reported improved anatomical understanding and surgical planning, despite limitations in display brightness and processing capacity.

**Conclusion:** MR-assisted SSG surgery is feasible and safe, offering enhanced spatial perception and operative guidance. It shows promise for improving efficiency and safety in thyroid surgery. Larger prospective studies are warranted to validate its clinical benefits and further optimize the workflow and hardware performance.

**Key words**

Goiter, Substernal; Thyroidectomy; Augmented Reality; Head-Mounted Display

**CLC number:** R653.2

近年来,甲状腺结节的发病率已达 34%~66%<sup>[1]</sup>。其中,胸骨后甲状腺肿(substernal goiter, SSG)定义为腺体延伸至胸廓入口平面以下,或甲状腺肿的 50% 以上位于胸骨切迹下方。SSG 可压迫周围的气管、食管、血管或神经等结构,引起呼吸困难、吞咽困难、发音困难、霍纳综合征或上腔静脉综合征等并发症<sup>[2]</sup>。因此,SSG 是甲状腺手术的指征之一,SSG 手术约占其中的 7%<sup>[3]</sup>,可经颈部、胸部或颈胸部联合等入路实施。与开胸相比,颈部切口创伤最小、并发症最少,但也存在因视野显露或操作空间不足导致手术失败的风险<sup>[4]</sup>。完

善的评估和引导对 SSG 手术至关重要。

混合现实(mixed reality, MR)是一种新兴的沉浸式可视化技术<sup>[5]</sup>。通过将人工智能和自然交互功能与搭载独立处理器、电源和传感系统的头戴式显示器(head-mounted display, HMD)相结合,MR 通过实时呈现高度拟真并可保持特定空间位置的全息影像,实现了虚拟与现实的深度融合<sup>[6]</sup>。呈现对医学影像进行三维(3D)重建所得的 3D 模型是 MR 的主要临床应用。目前,MR 已在骨科、神经外科、泌尿外科和口腔颌面外科等多种手术的术前评估和术中导航中成功实践,但在甲状腺手

术中尚无有关研究<sup>[7-10]</sup>。笔者团队首次尝试了MR在甲状腺手术中的应用，并总结其中MR在SSG手术中的实践成果，初步分析其可行性和临床价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

回顾性纳入2024年5月—12月在中山大学附属第三医院甲状腺乳腺外科行甲状腺手术并应用MR辅助的29例SSG患者，纳入标准：(1)术前经CT诊断为SSG；(2)使用MR辅助实施手术。排除标准：(1)合并呼吸、循环等系统的严重疾病；(2)合并恶性肿瘤；(3)有甲状腺手术史、消融史或放射性碘治疗史；(4)术前检查发现甲状旁腺功能或声带功能异常。29例患者中，男性11例，女性18例；平均年龄为(53.76±10.89)岁。6例患者患有基础疾病，其中合并高血压5例，合并糖尿病2例。10例患者患有其他甲状腺疾病，其中甲状腺功能亢进5例，桥本氏甲状腺炎5例。本研究经中山大学附属第三医院伦理委员会批准(批准号：II2025-135-01)，并豁免患者知情同意。

### 1.2 方法

**1.2.1 3D重建方法** (1)准备工作：患者在手术前常规行颈部增强CT检查，层厚为1 mm。将医学数字成像和通信(digital imaging and communications in medicine, DICOM)资料导入医学影像处理软件3D Slicer<sup>[11]</sup>(图1A)。(2)在“Segment Editor”模块中使用阈值(threshold)、局部阈值(local threshold)、挖空(hollow)和种子生长(grow from seeds)等工具依次完成皮肤、甲状腺、气管、食管、骨骼、动脉和静脉结构的半自动分割和重建

(图1B-F)。(3)在“Segmentations”模块中导出分割后的3D模型，可通过“Models”模块测量甲状腺的体积和表面积，及其延伸至胸廓入口平面以下的体积。(4)加载内置扩展包“Vascular Modeling Toolkit”，可通过“Cross-Section Analysis”模块测量气管腔的内径和横截面积。

**1.2.2 全息影像构建方法(图2)** (1)通过混合现实工具包(mixed reality toolkit, MRTK)在Unity3D软件中新建项目，并导入颈部3D模型。(2)通过绑定相应组件添加模型的互动功能，例如通过“Box Collider”组件确定可控制范围，通过“Cursor Context Object Manipulator”组件添加可移动光标，通过“Object Manipulator”和“Near Interaction Grabbable”组件添加移动、缩放和旋转功能等。(3)通过Holographic Remoting软件在MR设备上调试项目。(4)通过Visual Studio软件将导出的项目部署至MR设备。

**1.2.3 MR临床应用方法(图3)** (1)外科医生可根据自身意愿，在围手术期的任意时刻使用MR HMD。在手术前，术者可自行佩戴MR设备HoloLens 2(Microsoft, Redmond, USA)，手术中可由巡回护士协助佩戴。(2)术者通过手势、语音或视线控制MR HMD，加载已部署的颈部全息影像。术者可隔空抓取全息影像，随时调整其大小、位置、方向和透明度。(3)术者可使颈部全息影像呈现与人体相同的位置、大小和角度，将其与手术区域叠加，可在进行解剖暴露前明确病变范围和重要结构的分布。(4)术者通过MR HMD摄录第一视角照片和视频，并经Wi-Fi连接实时共享MR环境下的第一视角。

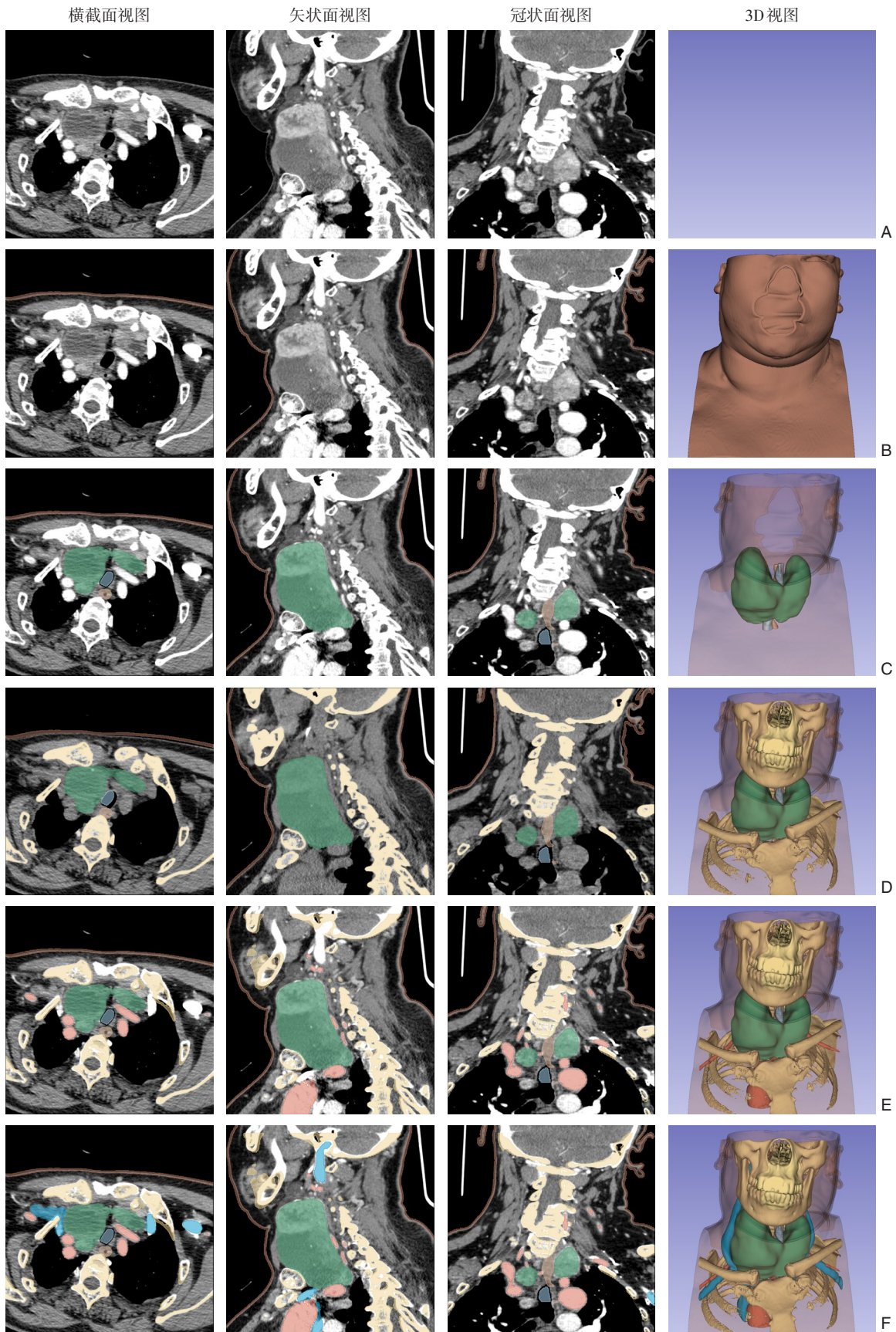


图 1 3D重建过程 A: 导入DICOM数据; B: 分割皮肤; C: 分割甲状腺、气管和食管; D: 分割骨骼; E: 分割动脉; F: 分割静脉

Figure 1 Workflow of 3D reconstruction A: Importing DICOM data; B: Skin segmentation; C: Segmentation of thyroid, trachea, and esophagus; D: Bone segmentation; E: Arterial segmentation; F: Venous segmentation

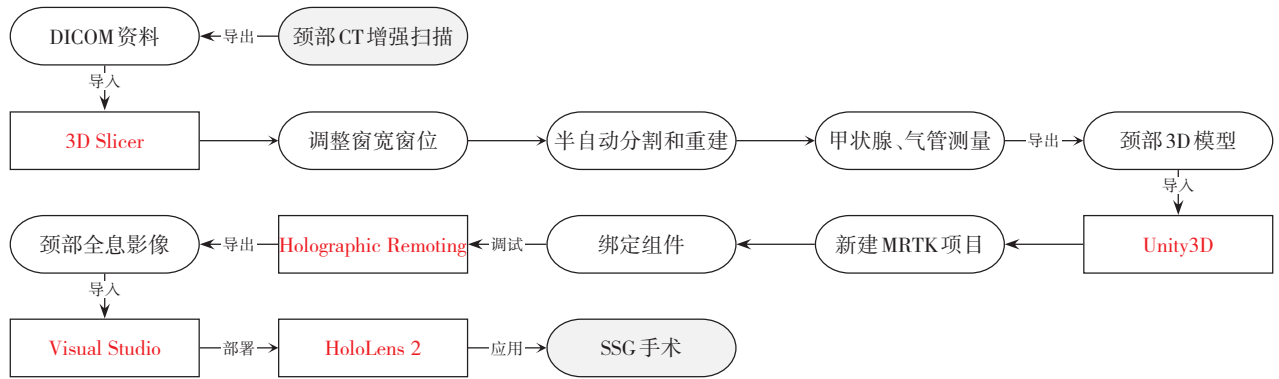


图2 技术路线

Figure 2 Technical workflow



图3 MR应用于SSG手术 A: 术前使用MR HMD; B: 术者通过手势控制颈部全息影像; C: 调整颈部全息影像透明度; D: 调用其他临床资料 (CT、超声报告); E: 在无菌环境中使用MR HMD; F: 使颈部全息影像与手术区域重叠; G: 术中观察全息影像; H: 切取手术标本

Figure 3 Application of MD in SSG surgery A: Preoperative use of MR HMD; B: Gesture-controlled manipulation of holographic thyroid model; C: Adjustment of model transparency; D: Accessing additional clinical data (CT, ultrasound reports); E: Use of MR device in a sterile environment; F: Overlaying holographic neck model onto operative field; G: Intraoperative viewing of holographic images; H: Specimen retrieval

**1.2.4 SSG开放手术方法** (1)患者取仰卧位,颈部过伸。取胸骨柄切迹上方1 cm处顺皮纹弧形切口,依次切开皮肤、皮下组织及颈阔肌,在颈阔肌深面向上游离皮瓣至甲状软骨切迹,纵行切开颈白线。(2)探查两侧甲状腺大小和形态。优先离断峡部,分离甲状腺气管韧带。(3)紧靠上极结扎切断甲状腺上动、静脉,注意保护喉上神经。沿甲状腺外缘向下分离,用超声刀切断甲状腺中静脉。(4)离断甲状腺悬韧带,自后方逐渐松解甲状腺,注意原位保留上甲状旁腺及其血供。在术中神经监测仪辅助下寻找喉返神经入喉点,向下沿食管沟探查并保护喉返神经。(5)向甲状腺下极分离,切断腺体与气管间的联系,优先结扎切断甲状腺下动、静脉的分支。(6)向上牵拉腺体,自胸

骨后游离出肿物下端,直视下逐一结扎其血供。注意寻找下甲状旁腺,必要时行自体移植。(7)彻底止血,蒸馏水冲洗伤口,留置引流管后逐层缝合。

**1.2.5 SSG腔镜手术方法** 腔镜手术方法与开放手术相似,但不取颈部切口,改为双乳连线中点偏右一横指处作观察孔,置入30°腹腔镜,双侧乳晕上缘作操作孔,分别置入超声刀、抓钳等手术器械。

**1.2.6 术后调查和随访** 记录疾病复发和手术并发症的发生情况(表1)。记录手术方式、手术时间、估计出血量、引流时间、总引流量、住院时间和费用等。术后常规予以口服钙剂和甲状腺激素替代治疗。患者常规在出院后第1周和第1、3、6个月至门诊随访,复查甲状腺彩超和甲状腺功能。

表1 甲状腺手术并发症

Table 1 Complications of thyroidectomy

手术并发症	诊断标准
甲状旁腺功能减退症 <sup>1)</sup>	(1)出现手足抽搐、口周麻木等症状;(2)术后血钙<2.0 mmol/L
喉返神经损伤 <sup>1)</sup>	(1)出现声音嘶哑或失声;(2)喉镜检查显示声带活动受限或麻痹
喉上神经损伤 <sup>1)</sup>	(1)出现音调降低或无法发高音;(2)出现饮水呛咳、误咽;(3)喉镜检查显示声带张力下降
术后出血	(1)出现颈部迅速肿胀、疼痛、呼吸困难或窒息感;(2)引流液呈血性,引流量骤增
甲状腺危象	(1)出现烦躁、谵妄、昏迷等中枢症状;(2)高热(>38.5℃)、心动过速(>120次/min)
气管软化	(1)术后24~72 h出现呼吸困难,且排除其他原因;(2)经颈部CT或支气管镜确诊

注:1)暂时性:病程<6个月,永久性:病程>6个月

Note: 1) Transient: disease duration <6 months; Permanent: disease duration >6 months

### 1.3 统计学处理

通过SPSS 25.0进行描述性统计分析。计量资料中符合正态分布的表示为均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ ),不符合正态分布的表示为中位数(四分位间距)[ $M(IQR)$ ]。计数资料表示为例数(百分比)[ $n(%)$ ]。

## 2 结果

### 2.1 患者基线特征

29例患者的体质量指数(body mass index, BMI)、基础代谢率(basal metabolic rate, BMR)、甲状腺功能、甲状旁腺功能和甲状腺体积等基线特征见表2。其中超重(BMI>25 kg/m<sup>2</sup>)9例,肥胖(BMI>30 kg/m<sup>2</sup>)1例,基础代谢异常(BMR>15%)8例。血甲状腺激素水平升高4例,促甲状腺激素水平降低8例。血甲状旁腺激素(parathyroid hormone, PTH)水平升高3例。

表2 29例患者的基线资料

Table 2 Baseline characteristics of 29 patients

资料	数值
BMI(kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	23.73±2.83
BMR(% , $\bar{x} \pm s$ )	9.93±11.53
甲状腺激素(nmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	104.77±23.80
游离甲状腺激素(pmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	14.09±2.02
三碘甲酰原氨酸(nmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	1.70±0.37
游离三碘甲酰原氨酸(pmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	4.54±0.64
促甲状腺激素(μIU/mL, $\bar{x} \pm s$ )	0.62±0.58
PTH(pg/mL, $\bar{x} \pm s$ )	51.80±23.90
血钙(mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	2.27±0.10
血磷(mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	1.12±0.17
甲状腺体积[cm <sup>3</sup> , $M(IQR)$ ]	71.49(49.4~113.52)
胸廓内甲状腺体积[cm <sup>3</sup> , $M(IQR)$ ]	3.19(0.73~8.53)
气管最小横截面积(cm <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	1.34±0.44
气管最短直径(cm, $\bar{x} \pm s$ )	1.04±0.23

## 2.2 手术情况

所有患者均接受经颈入路SSG手术，手术方式、手术时间、估计出血量和手术费用等见表3。所有患者术中无神经、血管损伤。

表3 手术相关指标  
Table 3 Operative parameters

项目	数值
单侧甲状腺切除术[n(%)]	13(44.8)
双侧甲状腺切除术[n(%)]	16(55.2)
甲状旁腺自体移植[n(%)]	8(27.6)
腔镜手术[n(%)]	3(10.3)
手术时间[ <i>min</i> , <i>M(IQR)</i> ]	145(117.5~161)
估计出血量[ <i>mL</i> , <i>M(IQR)</i> ]	10(10~15)
手术费用(元, $\bar{x} \pm s$ )	16 571.46±2 345.13

## 2.3 手术后情况

术后2例(6.9%)发生暂时性甲状旁腺功能减退症，无其他并发症发生。病理结果提示结节性甲状腺肿24例，滤泡性肿瘤5例。病灶最大直径、术后引流时间、总引流量、患者住院时间和住院治疗费用等见表4。

表4 术后相关指标  
Table 4 Postoperative outcomes

项目	数值
暂时性甲状旁腺功能减退[n(%)]	2(6.9)
病灶残留/复发[n(%)]	0(0.0)
病灶最大直径( <i>cm</i> , $\bar{x} \pm s$ )	3.84±1.60
引流时间[ <i>d</i> , <i>M(IQR)</i> ]	2(2~3)
总引流量( <i>mL</i> , $\bar{x} \pm s$ )	107.41±29.02
住院时间( <i>d</i> , $\bar{x} \pm s$ )	6.34±2.83
住院治疗费用[元, <i>M(IQR)</i> ]	21 856.7(20 628.51~23 841.85)

## 2.4 MR应用情况

3D重建所需时间60~90 min，全息影像构建所需时间15~20 min，MR HMD的应用时间10~20 min。术者均认为MR有助于制订手术计划和加深解剖理解，但手术中开启无影灯会影响全息影像的视觉效果。在6例手术中曾出现全息影像的失真或延迟，但未出现使用MR HMD的有关不良反应。

## 3 讨论

SSG可分为原发性和继发性，通常以继发性为

主，占比99%，即颈部甲状腺肿在胸廓内负压和重力作用下经胸廓入口向下延伸<sup>[12]</sup>。由于骨性胸廓入口是固定的，SSG的持续生长和延伸会挤占其他重要解剖结构的空間，引起各种临床症状和严重并发症，甚至威胁生命，亟需手术治疗<sup>[13]</sup>。然而，现有研究发现，与其他甲状腺手术相比，SSG手术的并发症发生率更高，手术时间、引流时间和住院时间也更长<sup>[14]</sup>。此外，约6%的SSG需要经颈外入路实施手术<sup>[14-15]</sup>，如巨大肿物、延伸至主动脉弓以下或后纵隔的肿物，这意味着并发症发生率的进一步提高<sup>[14-18]</sup>。因此，外科医生需致力于提高SSG手术的安全性和颈部入路的应用率。

颈部CT可清晰呈现SSG的大小、形态和分布，及其与周围解剖结构的位置关系，是SSG术前诊断和评估的首选检查<sup>[3]</sup>。研究显示，基于CT的评估对于是否经颈外入路实施SSG手术的决策很有价值<sup>[19]</sup>。3D重建可将以像素为单位的断层影像转化为以体素为单位的3D模型，通过客观的计算机技术取代外科医生在脑海中进行的图像重构，缩小了主观误差，有助于SSG手术入路的选择<sup>[20]</sup>。MR技术可在现实中实现虚拟3D模型的可视化，与目前临床常用的平面显示器相比，MR提高了3D模型的体积保真度，优化了用户的空间深度感知<sup>[21]</sup>。MR的优势还在于其可应用于手术之中，随时为外科医生提供信息支持，而非仅用于术前评估<sup>[6]</sup>。术者可自由调整3D模型的位置和尺寸，使之与手术区域中的相应部位重叠，以发挥更大的参考价值，或调取其他的临床资料。MR HMD还可以通过Wi-Fi共享外科医生的第一视角，这可能有助于手术团队协作、临床教学和远程医疗<sup>[22-24]</sup>。总之，MR理论上应有助于SSG手术的准确评估和成功实施。

本研究通过29例的临床实践证实了MR应用于SSG手术的可行性，并取得了较为理想的结果。随访过程中，仅有2例(6.9%)患者发生了暂时性甲状旁腺功能减退症，无其他并发症、死亡或SSG复发。相比之下，现有研究中SSG手术的并发症发生率可达10.6%~45.6%<sup>[14,16-18,25-26]</sup>。中位手术时间是145 min，文献报道则在78~178 min<sup>[14-16]</sup>之间。术中出血量在10~30 mL之间，未发生大出血。

本研究中MR在SSG手术的应用涉及3D重建、全息影像构建和HMD使用三个阶段。3D重建是使用3D Slicer进行的颈部增强CT影像的半自动分割

和重建,所需时间取决于病例的复杂程度,在可接受范围内。目前,医学影像全自动分割方法普遍欠缺准确率和稳定性,需进一步发展,但手动方法也会引入操作者的主观误差,由高年资外科或放射科医生复核有助于减少误差<sup>[27]</sup>。全息影像构建可使用 Unity3D 和 MRTK 免费完成,但需要较多的学习和准备时间,也可选择付费的商业解决方案。HoloLens 2 是目前最常用的 MR HMD,主要优势是集成了独立的处理器、内存、存储、操作系统和电源,支持自然交互功能,无需触碰按键或连接数据线,适合在无菌环境中使用<sup>[28]</sup>。然而,HoloLens 2 也存在计算和显示性能不足的问题。人体解剖模型的结构复杂,处理器性能和内存不足容易导致显示失真或延迟问题,需要对模型进行简化<sup>[29]</sup>。手术区域内光照强,且多有不透明物体遮挡和干扰,显示器分辨率、亮度和视场的不足使术者难以看清所呈现的内容<sup>[30]</sup>。此外,尽管采用了人体工学设计,但超过 500 g 的重量仍可能使佩戴者在手术中感到不适,长时间使用 MR HMD 则可能导致更多不良反应,如视觉疲劳、视物模糊、眼部干涩、头痛、头晕、精神不集中等<sup>[28]</sup>。

综上所述,本研究初步证明了 MR 在 SSG 手术的应用是可行的,且具有改善临床结果、提升工作效率和手术安全性的潜力。然而,本研究样本量较小,且未进行对比分析。因此,未来需进一步开展前瞻性随机对照研究,以验证 MR 辅助 SSG 手术的具体价值,应用过程中所出现的问题也有待将来的技术进步加以解决。

作者贡献声明:孙鹏负责手术实施和数据收集,柯逸凡负责技术应用、统计分析和论文撰写;张鹏负责手术实施和论文修改;邬杰忠负责手术实施和论文校对;黄泽楠负责手术实施和数据校对;胡昆鹏负责方案设计、手术实施和指导论文写作。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

## 参考文献

[1] Uppal N, Collins R, James B. Thyroid nodules: Global, economic, and personal burdens[J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 14: 1113977. doi:10.3389/fendo.2023.1113977.

[2] Gorniak A, Carlson-Dexter P, Ochoa J, et al. Substernal multinodular goiter resulting in superior vena cava syndrome and

tracheal compression[J]. *BMJ Case Rep*, 2023, 16(3):e252827. doi:10.1136/bcr-2022-252827.

- [3] Doulaptsi M, Karatzanis A, Prokopakis E, et al. Substernal goiter: Treatment and challenges. Twenty-two years of experience in diagnosis and management of substernal goiters[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2019, 46(2):246–251. doi:10.1016/j.anl.2018.07.006.
- [4] 王丽芬,黄志纯,杜银娟.颈部入路切除颈胸骨后巨大甲状腺肿的手术思考[J]. *中国耳鼻咽喉头颈外科*, 2024, 31(9):549–553. doi:10.16066/j.1672-7002.2024.09.002.
- Wang LF, Huang ZC, Du YJ. Surgical thinking about a cervical approach to remove a huge goiter behind the sternum[J]. *Chinese Archives of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 2024, 31(9): 549–553. doi:10.16066/j.1672-7002.2024.09.002.
- [5] 辛宇,丁新宇,黄可南,等.混合现实技术在医学中的应用[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2021, 28(5):597–602. doi:10.7507/1007-4848.202010031.
- Xin N, Ding XY, Huang KN, et al. Application of mixed reality technique in medicine[J]. *Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2021, 28(5):597–602. doi:10.7507/1007-4848.202010031.
- [6] Magalhães R, Oliveira A, Terroso D, et al. Mixed reality in the operating room: a systematic review[J]. *J Med Syst*, 2024, 48(1): 76. doi:10.1007/s10916-024-02095-7.
- [7] Móga K, Hölgyesi Á, Zrubka Z, et al. Augmented or mixed reality enhanced head-mounted display navigation for in vivo spine surgery: a systematic review of clinical outcomes[J]. *J Clin Med*, 2023, 12(11):3788. doi:10.3390/jcm12113788.
- [8] Isikay I, Cekic E, Baylarov B, et al. Narrative review of patient-specific 3D visualization and reality technologies in skull base neurosurgery: enhancements in surgical training, planning, and navigation[J]. *Front Surg*, 2024, 11: 1427844. doi:10.3389/fsurg.2024.1427844.
- [9] Reis G, Yilmaz M, Rambach J, et al. Mixed reality applications in urology: requirements and future potential[J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2021, 66:102394. doi:10.1016/j.amsu.2021.102394.
- [10] 陈铭韬,杨嵘,季彤.混合现实技术在口腔颌面外科的应用进展[J]. *中国口腔颌面外科杂志*, 2020, 18(6):559–562. doi:10.19438/j.cjoms.2020.06.017.
- Chen MT, Yang R, Ji T. Application of mixed reality technique in oral and maxillofacial surgery[J]. *China Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2020, 18(6): 559–562. doi:10.19438/j.cjoms.2020.06.017.
- [11] Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network[J]. *Magn Reson Imaging*, 2012, 30(9):1323–1341. doi:10.1016/j.mri.2012.05.001.

- [12] Unlu MT, Aygun N, Kostek M, et al. Substernal goiter: from definitions to treatment[J]. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul*, 2022, 56(2): 167-176. doi:10.14744/SEMB.2022.30806.
- [13] Bastien AJ, Ho AS. Surgical management of substernal thyroid goiters[J]. *Otolaryngol Clin North Am*, 2024, 57(1): 39-52. doi: 10.1016/j.otc.2023.07.008.
- [14] Testini M, Gurrado A, Avenia N, et al. Does mediastinal extension of the goiter increase morbidity of total thyroidectomy? A multicenter study of 19 662 patients[J]. *Ann Surg Oncol*, 2011, 18(8):2251-2259. doi:10.1245/s10434-011-1596-4.
- [15] Khan NS, Zhang YT, Bollig K, et al. Extracervical approaches to substernal thyroid goiter resection: a systematic review and meta-analysis[J]. *OTO Open*, 2024, 8(1):e103. doi:10.1002/oto2.103.
- [16] Lin YS, Wu HY, Lee CW, et al. Surgical management of substernal goitres at a tertiary referral centre: a retrospective cohort study of 2, 104 patients[J]. *Int J Surg*, 2016, 27: 46-52. doi: 10.1016/j.ijso.2016.01.032.
- [17] Hanson MA, Shaha AR, Wu JX. Surgical approach to the substernal goiter[J]. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, 2019, 33(4):101312. doi:10.1016/j.beem.2019.101312.
- [18] Tabchouri N, Anil Z, Marques F, et al. Morbidity of total thyroidectomy for substernal goiter: a series of 70 patients[J]. *J Visc Surg*, 2018, 155(1): 11-15. doi: 10.1016/j.jvisurg.2017.05.006.
- [19] Akinci O, Aygan S, Inci E, et al. Computed tomography findings affecting the decision of sternotomy in substernal goiter[J]. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul*, 2023, 57(3): 305-311. doi: 10.14744/SEMB.2023.25307.
- [20] Wang C, Sun P, Li J, et al. Strategies of laparoscopic thyroidectomy for treatment of substernal goiter via areola approach[J]. *Surg Endosc*, 2016, 30(11): 4721-4730. doi: 10.1007/s00464-016-4814-0.
- [21] Kazemipour N, Hooshiar A, Kersten-Oertel M. A usability analysis of augmented reality and haptics for surgical planning[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2024, 19(10): 2069-2078. doi: 10.1007/s11548-024-03207-x.
- [22] Acar A, Atoum J, Reed A, et al. Intraoperative gaze guidance with mixed reality[J]. *Healthc Technol Lett*, 2023, 11(2/3): 85-92. doi: 10.1049/htl2.12061.
- [23] Anabtawi M, Shabir D, Padhan J, et al. A holographic telementoring system depicting surgical instrument movements for real-time guidance in open surgeries[J]. *Comput Meth Programs Biomed*, 2024, 256:108396. doi:10.1016/j.cmpb.2024.108396.
- [24] Qi Z, Corr F, Grimm D, et al. Extended reality-based head-mounted displays for surgical education: a ten-year systematic review[J]. *Bioengineering (Basel)*, 2024, 11(8): 741. doi: 10.3390/bioengineering11080741.
- [25] 蒋波, 彭瑶, 王浩, 等. 颈部入路切除胸骨后甲状腺肿 57 例临床分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2017, 26(3):347-351. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2017.03.012.
- Jiang B, Peng Y, Wang H, et al. Excision of substernal goiter via cervical approach: a clinical analysis of 57 cases[J]. *China Journal of General Surgery*, 2017, 26(3):347-351. doi:10.3978/j.issn.1005-6947.2017.03.012.
- [26] Obadiel YA, Al-Shehari M, Algmaly Y, et al. Surgical management and predictors of postoperative complications of retrosternal goiters: a retrospective study[J]. *Cureus*, 2024, 16(3):e56573. doi: 10.7759/cureus.56573.
- [27] Trimpl MJ, Primakov S, Lambin P, et al. Beyond automatic medical image segmentation-the spectrum between fully manual and fully automatic delineation[J]. *Phys Med Biol*, 2022, 67(12). doi: 10.1088/1361-6560/ac6d9c.
- [28] Palumbo A. Microsoft HoloLens 2 in medical and healthcare context: state of the art and future prospects[J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(20):7709. doi:10.3390/s22207709.
- [29] Doughty M, Ghugre NR, Wright GA. Augmenting performance: a systematic review of optical see-through head-mounted displays in surgery[J]. *J Imaging*, 2022, 8(7): 203. doi: 10.3390/jimaging8070203.
- [30] Suter D, Hodel S, Liebmann F, et al. Factors affecting augmented reality head-mounted device performance in real OR[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(10):3425-3433. doi:10.1007/s00586-023-07826-x.

( 本文编辑 熊杨 )

本文引用格式:孙鹏,柯逸凡,张鹏,等.混合现实辅助胸骨后甲状腺肿手术的可行性与安全性分析:附29例报告[J].*中国普通外科杂志*, 2025, 34(11):2342-2350. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.250235

Cite this article as: Sun P, Ke YF, Zhang P, et al. Feasibility and safety analysis of mixed reality-assisted surgery for substernal goiter: a report of 29 cases[J]. *Chin J Gen Surg*, 2025, 34(11): 2342-2350. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.250235