

## 眼科手术机器人的研究进展

苏铃雅 综述 陈亦棋 沈丽君 审校

310000 温州医科大学附属眼视光医院 浙江省眼科医院(苏铃雅,现在杭州市红十字会医院)

通信作者:沈丽君,Email:slj20101119@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.04.017

**【摘要】** 手术机器人具有高精度、高灵活度、高重复性等优点并与微创手术相融合,解决了传统微创手术的弊端,逐渐进入医学各个领域。国外学者对医疗手术机器人有广泛的研究,达芬奇手术机器人是目前临床应用最广泛、最为成熟的手术机器人系统。中国的手术机器人虽然起步较晚,但也成功自主研发了角膜移植手术机器人、妙手 A、玻璃体视网膜显微手术机器人等一系列医疗手术机器人系统。目前,医疗手术机器人广泛应用于临床各个领域,同时应用于眼科。运用机器人行眼科手术有减少术者的生理颤抖、提高手术的稳定性与精确性、缩短学习曲线等优点。目前,达芬奇手术机器人能完美地完成角膜裂伤缝合、角膜全层移植、羊膜移植、翼状胬肉切除等眼表手术;中国自行研制的辅助角膜移植显微手术机器人也可以完成角膜的钻切和缝合。由于达芬奇手术机器人存在一定的局限性,并不能良好地运用于玻璃体视网膜等复杂的眼内手术。Handheld(手持式)、steady-hand(稳定手)、master-slave(主从式)以及在此基础上研发的各类运用于眼内手术机器人已经成功完成离体猪眼内玻璃体切割、视网膜异物移除、视网膜血管鞘膜剥除、视网膜血管穿刺以及在活体兔眼内完成视网膜激光光凝等眼内的操作,为今后手术机器人辅助眼内手术提供了可能。今后仍需不断地研发各式医疗手术机器人及提升其性能,从而可以更好地应用于临床。

**【关键词】** 机器人;眼科;研究进展

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(81700884、51175013);浙江省医药卫生科技计划项目(WKJ2010-2-018、WKJ-ZJ-1726);浙江省教育厅科技计划项目(Y201431237);温州医科大学眼视光学院重大科研项目(YNZD201003)

**Research progress of the robot-assisted ophthalmology surgery** Su Lingya, Chen Yiqi, Shen Lijun

Eye Hospital of Wenzhou Medical University, Zhejiang Eye Hospital, Hangzhou 310000, China (Su LY, now in Hangzhou Red Cross Hospital)

Corresponding author: Shen Lijun, Email: slj20101119@163.com

**【Abstract】** Surgical robots have the advantages of high precision, high flexibility, high repeatability, and merging with minimally invasive surgery to solve the shortcomings of traditional minimally invasive surgery, and gradually into all fields of medicine. Foreign scholars have extensive research on medical surgical robots. Currently, Da Vinci surgical robots are the most widely used and most mature surgical robot system. Although our scholars started later, they also successfully developed a corneal transplant robot, MiaoShou-A robot, robotic vitreoretinal microsurgery system and so on. At present, Robot-assisted surgery are widely used in various medical fields, which has also been used in ophthalmology. Robot-assisted surgery can reduce the physiological tremor of the surgeon; improve surgical stability and accuracy; shorten the learning curve and so on. At present, Da Vinci surgical robots can perfectly complete the ocular surface surgery such as suturing of the corneal laceration, corneal whole-layer transplantation, amniotic membrane transplantation and pterygium excision. The corneal transplantation microsurgery robot developed by our country can also complete corneal looping incision and suturing of the corneal. As Da Vinci surgical robots have some limitations and can't be well used in complex intraocular surgery such as vitreoretinal surgery. Handheld robot system, steady-hand robot system, master-slave robot system and various kinds of robots based on these systems are used in intraocular surgery. The pars plana vitrectomy (PPV), retinal foreign body Removal, retinal vascular sheath sclerosis, retinal vascular cannulation had successfully performed in harvested porcine eyes and endolaser for retinal photocoagulation was done in Irish rabbit. It offers the possibility for future intraocular surgery with robot-assisted. At

the same time, wider application research of robotic surgery and improvement of a robotic system should be continued.

[Key words] Robot; Ophthalmology; Research progress

**Fund program:** National Natural Science Foundation of China (81700884, 51175013); Zhejiang Medical and Health Science and Technology Project (WKJ2010-2-018, WKJ-ZJ-1726); Science and Technology Project of Zhejiang Education Department (Y201431237); Major Scientific Research Projects of School of Ophthalmology Optometry, Wenzhou Medical University (YNZD201003)

1987年,法国医生 Mouret<sup>[1]</sup>完成了世界上首例电视腹腔镜胆囊切除术,开创了微创手术技术的新时代。随着外科微创手术的飞速发展,越来越多的临床科室应用微创手术来替代传统手术。即便微创手术是一种成功的跨时代手术方式改革,其仍存在操作灵活度受限、眼手运动不协调、筷子效应等缺点。随着电子技术、传感器技术、医学影像技术、信息处理等技术的发展,具有高精度、高灵活度、高重复性、不易受环境影响、可以减轻医生手术时疲劳等诸多优势于一身的手术机器人面世了,其与微创手术融合,逐渐进入医学领域。本文就国内外手术机器人的现状进行综述,着重探讨机器人在眼表手术和玻璃体视网膜手术中的研究及应用。

## 1 概况

1985年, Kwoh 等在多次临床前试验后,终于在 1 例 52 岁患者身上首次成功地使用机器人进行辅助手术<sup>[2]</sup>,该机器人仅能够完成使针定位并取得一定组织进行组织切片的简单操作。1991年,英国伦敦帝国理工学院 Davies 等<sup>[3]</sup>研究出第一台经尿道前列腺切除的手术机器人,实现了机器人首次协助人体前列腺切除术,也是机器人第一次用于人体组织切除。至今,手术机器人的运用已有 20 余年,国内外许多科研机构致力于医用手术机器人的研究。1994年,美国 Computer Motion 公司研制出 AESOP 系列外科手术机器人,通过不断改进, AESOP 机器人可以实现声控机械臂,医生根据术中需要,声控调整腔内持镜机械臂的位置,来获得稳定的腔内图像,该系统也是首个获得 FDA 认证并运用于临床的机器人系统<sup>[4]</sup>。随后 Computer Motion 公司在 AESOP 基础上,推出了真正意义上第一代主从操作外科机器人系统—ZEUS。不同于 AESOP 系统仅仅作用于腔内持镜, ZEUS 系统包括主操作控制台和机械臂两部分,可以通过主操作控制台发出的指令,使机械臂进行手术操作,从而消除了医生手术颤抖,使微创手术更加稳定<sup>[5]</sup>。2001年,美国 Intuitive Surgical 公司研制出获得 FDA 认证的 Da Vinci 机器人系统,即达芬奇机器人。达芬奇机器人能够安全、有效地应用于泌尿手术、妇科手术、心脏手术等医学领域<sup>[6-8]</sup>,这是目前运用于临床最广泛、最为成熟的手术机器人系统。达芬奇机器人由可移动的 4 条机械臂的主体、成像部以及医生主控台 3 个部分组成<sup>[9]</sup>。4 条机械臂中的 3 条用于夹持手术器械, 1 条用于夹持高分辨率的数码相机,给手术者提供三维立体、近 15 倍的放大率图像。每条机械臂均为复合铰链式链接,可实现 7 个自由度像手腕一样自由移动,以更好地实现三维立体运动。手术者坐在主控台,通过观察由数码相机传来的三维立体视野,直接控制操作手柄以及脚踏,保证了手眼一致。计算机通过处

理,滤过颤抖,将医生的操作按比例传递给机械臂以完成手术,保证了手与器械运动的一致。术者手的操作和器械的移动之间没有存在延迟,几乎是同时性。除此之外,国外还研发出许多尚在研究测试阶段的手术机器人,如美国 Simaan 等研制出的蛇形单孔道手术机器人等。

在国内,由于起步较晚,与国外医疗机器人的发展水平有一定的差距,但我国也存在许多优秀的自主研发医疗机器人项目。2005年,北京航空航天大学胡一达等<sup>[10]</sup>研制出角膜移植技术手术机器人雏形;2010年由天津大学、南开大学和天津医科大学总医院联合研制的“妙手 A”面世<sup>[11-12]</sup>。该机器人系统也由主控、成像和机械臂 3 个部分组成,类似于达芬奇机器人,是一个主从式微创机器人手术,但整体体积较达芬奇机器人小,具有 6 个自由度操作,可以实现主、从操作虚拟力反馈,提高手术精确度。目前“妙手 A”系统已顺利完成多例猪的胆囊切除动物实验。“妙手 A”的面世是国内首次成功研制具有知识产权的微创外科手术机器人,填补了国内在医疗微创手术机器人方面的空白。2014年,沈丽君教授联合北京航空航天大学杨洋教授等研发了视网膜血管搭桥手术机器人系统<sup>[13]</sup>。2017年,沈丽君教授团队在以往的实验基础上,进一步研发了玻璃体视网膜显微手术机器人系统,实现了机器人辅助离体猪眼及活体兔眼的内眼手术<sup>[14]</sup>。除此之外,哈尔滨工业大学、上海交通大学、北京理工大学等国内许多科研院所都在从事医疗手术机器人相关方面的研究,但距离临床应用还有一定的距离。

微创手术机器人可以实现震颤滤过,减少人固有的生理颤抖,使手术操作更加稳健;拥有多个自由度的末端操作器可以在狭小的空间灵活运转,提高手术精确性,减少手术的并发症;机器人操作学习曲线快,可以快速、高效、重复地实现高难度手术操作;机器人手术亦可以将手术数字化保存,以便日后学习观摩;对患者来说,使用机器人手术也可以使切口更小、出血更少,加快恢复速度。对于医生,亦可减少其在手术中的暴露,也是一种保护机制,实现对患者及医生的双赢。由于微创手术机器人的巨大优越性,近年来,其使用率成指数上升。微创手术机器人也应用于眼科手术。

目前,达芬奇机器人能够很好地运用于眼表手术,而眼内手术由于其特殊性,仍需发展适合玻璃体视网膜手术的机器人。本文将在以下段落中详细阐述手术机器人在眼表及眼内的发展及应用现状。

## 2 机器人在眼表手术中的研究及应用

目前达芬奇手术机器人能完美地完成眼表手术,使误差范围控制在毫米之间。2006年,美国学者 Tsirbas 等<sup>[15]</sup>运用达芬

奇机器人实现了机器人辅助眼前节手术的第一个实例,其用 2.7 mm 的角膜刀片在猪眼角膜顶端上模拟长约 8.0 mm、深度约 90% 角膜厚度的角膜裂伤,分别通过传统眼科显微操作与达芬奇机器人操作 2 种方式,用 10-0 缝线对猪眼角膜裂伤处进行间断缝合 3 针,将操作结果进行对比,结果表明传统手术相比于机器人手术,时间更短、更快;但是机器人辅助手术操作,使角膜切口缝线缝合的位置,裂口的闭合度更佳。该实验成功证明了机器人辅助眼科手术的可行性与手术效果的优越性。

2009 年, Bourges 等<sup>[16]</sup>在达芬奇机器人实现角膜缝合的基础上,尝试运用达芬奇机器人在猪眼及尸眼上实施角膜机械环钻术及运用 10-0 尼龙线行角膜连续缝合,完成角膜全层移植。手术中,机械臂腕部可以实现 6 个自由度的灵活运转,配合剪、切等操作,使机器人能稳定地在所有角膜中央环钻出直径约 8.0 mm 的全程角膜瓣。环钻出的角膜瓣用 10-0 单线缝合,在前房内灌注灌注液并用水合密闭切口。术后,所有切口均密闭良好,无一例渗漏。手术过程中,机器人机械臂能不受鼻缘等面部其他结构的影响而灵活移动,除去了传统手术对脸的压迫作用,提高了手术操作的灵活性。随后 Broucier 等<sup>[17]</sup>仍使用达芬奇机器人完成了眼表羊膜移植术,可以明确羊膜移植在眼表的覆盖率,从而提高手术的精确性,减少复发率。

2014 年,法国学者 Bourcier 等<sup>[18]</sup>用意式薄片肉模拟 Tenon 囊,大片牛肉薄片模拟结膜,8 mm×6 mm 大小的鸭肉模拟为翼状赘肉,粘于角膜及角巩膜缘,自制了 12 例翼状赘肉模型,通过操作达芬奇机器人对翼状赘肉模型进行赘肉分离、切割、结膜移植、缝合等,完成了机器人辅助翼状赘肉手术,该手术证实了机器人辅助眼表手术,实现分离、切割、缝合等操作的可靠性与安全性。同年,他们实现了第一例通过达芬奇机器人切除的人翼状赘肉手术<sup>[19]</sup>。

在中国,也有不少学者研究眼科相关的手术机器人。2009 年,北京航空航天大学联合首都医科大学附属北京同仁医院和北京市眼科研究所<sup>[10,20]</sup>,开发了辅助角膜移植显微手术机器人,是我国角膜移植手术机器人雏形。该机器人包含视觉系统、控制系统、力/位感知系统、末端执行器、自动缝合机构 6 个子系统。医生根据视觉系统确定的术眼位置等各种操作参数,输入控制系统,操控整体手术机器人,末端执行器按指令完成角膜钻切,自动缝合机构可以完成出针和拔针动作,完成角膜缝合。并有一位医生通过显微镜观察手术情况,及时纠正机器人操作错误。辅助角膜移植显微手术机器人成功地在 20 只活体兔眼进行钻切和缝合试验。但该手术机器人不能进行板层分离和植片、植床对合功能,没有结线和剪线等操作,还未能运用于患者,处于实验水平,距离投入临床使用还需进一步研究。该系统与达芬奇机器人操作眼表手术不同的是,我国的角移植机器人系统末端执行器加入了传感器,使角膜钻切过程中,可以通过力觉和触觉的反馈来精确地控制钻切力度和深度。

### 3 机器人在玻璃体视网膜手术中的应用

达芬奇手术机器人不仅能完美地运用于眼表手术,也有美国学者将达芬奇机器人应用于眼内手术操作。2008 年, Bourla

等<sup>[21]</sup>用达芬奇机器人对 30 只猪眼行眼内操作,医生在中控台通过操控手杆,机器将医生操作按比例传输给器械臂,实现器械臂夹持的眼科器械在眼内插入、取出、旋转、夹持等操作。该实验分别完成了 10 只猪眼 25G 巩膜三通道玻璃体切除术;成功取出 10 只猪眼前房 5.0 mm×2.5 mm×0.2 mm 的铜片异物,以及环形撕囊术。该研究表明达芬奇机器人拥有较高的自由度和复合铰链式机械臂,使机械臂在眼内操作运转灵活,可以实现眼内操作手术。但达芬奇机器人最初是为腹腔镜微创设计,故用其行眼内操作,远程运动控制中心点(RCM 点)不在巩膜刺入点,在操作时由于杠杆原理,对眼球产生不必要的压力,从而影响手术操作,容易造成眼球压力性损伤。

运用达芬奇手术机器人进行手术,有许多优点,其可以获得良好的 3D 视野;机械臂持内窥镜使术野更加平稳;机械臂持器械操作,移动范围更大,更灵活;术者坐在控制台控制,较传统手术不易疲劳;若行血管穿刺和血管内注药术等复杂手术,可以使操作更加平稳、精确,减少医源性损;可以实现远程手术,可以避免时间和空间的局限。

达芬奇机器人优点甚多,但是其目前为止尚未能良好地运用到眼内手术中,其原因在于:(1)达芬奇机器人误差是毫米范围,而眼内手术更加精确,需要微米级别;(2)医生操作过程中,通过内窥镜获得的图像比直接从显微镜获得的图像质量差;(3)一般情况下,眼内手术的 RCM 都在巩膜刺入点上,即眼内器械绕着巩膜刺入点转动。而达芬奇手术机器人最初是为腹腔镜设计的,所以它的 RCM 点并不在眼球刺入点上,这导致在使用达芬奇机器人行眼内手术时,器械会对眼球存在一个不必要的压力;(4)达芬奇机器人缺少接触反馈。这些原因都迫使科学家们要发展属于玻璃体视网膜手术独有的机器人系统。为此,微力传感器的发展、滤颤装置稳定手的发展、主从式系统的发展都为之后的玻璃体视网膜手术机器人的发展奠定了基础。

#### 3.1 微力传感器的发展

眼科手术中,术者都是通过显微镜观看术野情况,即通过视觉来反馈手术情况。这样既影响手术时长又使手术精确度下降,且术中会因人手器械操作用力不当,造成视网膜医源性损伤。1999 年, Gupta 等用 1 个自由度的探头测量手术时手术器械与视网膜间力的大小。研究表明,在平稳的视网膜手术中,75% 的情况下,手术器械与视网膜间的力小于 7.5 mN。然而这个数值低于人的生理触觉阈值,通常大部分人是感受不到的。所以在玻璃体视网膜手术时,手术医生的触觉反馈并不灵敏,有时甚至仅仅通过视觉反馈来补偿手术操作,故而造成视网膜的医源性损伤。为此,微力传感器应运而生。微力传感器通过在术中测得器械与视网膜的接触力,并将该力按一定比例放大反应出来,让术者可以直接感受到手术中操作力的大小,从而调节眼内手术时器械与视网膜的接触力,减少对组织的损伤,使手术更加安全。多年来,有许多学者对微力传感器进行研究, Zhou 等发展了依赖光束偏转测量力的传感器; Kim 等<sup>[26]</sup>发展了多轴测量的力传感器; Berkelman 等研发了以 mN 为单位的微型力传感器。 Jagtap 等<sup>[22]</sup>将 Berkelman 设计的传感

器与 handheld 结合,分别测定其在猪眼及兔眼内视网膜操作时的接触力,证明了其传感器测定力的可行性。但是由于该传感器测的是器械顶部至传感器杆长度 40 mm 的各向同力,所以在刺入点,即传感器杆与巩膜接触点位置,测得的横切力会干扰器械顶端测得的力,从而使数据出现偏差。Iordachita 等<sup>[23]</sup>总结了前人传感器局限的基础上,选用 FBG(光纤)变式传感器,将光纤缠绕在钛金属内,排除了巩膜与传感器间横切力的影响,测得的是器械接触头与视网膜的接触力,并且该传感器具有体积小、精确、稳定、没有噪音、可消毒、便宜等优点。

前面阐述的几类传感器都是将视网膜测得的力反馈给术者,而 Hubschman 等<sup>[24]</sup>设计了一个 Microhand(微机械手),模拟微观人手。Microhand 由 4 根 4 mm 长度的手指组成,对应的 2 根手指可以互相对合,从而模拟人手对微小客观事物的操作。通过控制气压的大小,使器械产生不同的弯曲程度,从而产生不同的力。通过控制气压,可以精确控制 Microhand 力的大小,使力小于 7.5 mN,从而避免视网膜的损伤。Microhand 还可以根据术者需要,同时闭合 4 根手指,产生 2 个点接触点同时牵拉视网膜。此项操作减少了传统手术剥膜,从单一点牵拉剥膜,造成对周边视网膜的牵拉性损伤。

微力传感器的发展不仅是对接触力的反馈,也可以通过精确调控力的大小来提高眼科手术的精确性和安全性。未来可以发展有更多自由度、更多轴向的力传感器,提高传感器的敏感性与准确性,也可以进一步量化力的测定,甚至可以发展其他感官代替触觉反馈,实现力的限制,从而使手术更加安全。

### 3.2 滤颤装置的发展

传感器可以让术者感知力的大小,减少医源性损伤,但是由于玻璃体视网膜手术精确度要求极高,手术医生固有的生理颤抖也是影响手术成功率的一个关键因素。1998 年, Riviere 等<sup>[25]</sup>对手术时固有的生理颤抖进行了评估,并发展了实时消除生理性颤抖的技术。随后他们研发了 handheld(手持式)显微器械的原型。手持 handheld 手术可以存在运动感知,区分术中需要和不需要的运动,使器械顶端向不需要的运动部分进行补偿。医生在术中可以像传统手术手握器械一样手握 handheld 操作,可以较快掌握,操作方便、简单。然而 handheld 可以补偿一些不必要的生理颤抖及错误的运动,也必将出现一些不必要的无法抑制的运动,以及时间的延迟。

随后,日本学者 Mitchell 等研究出第一代专为玻璃体视网膜手术设计的 steady-hand(稳定手)系统,并使用该系统在体外完成了血管穿刺实验,但是该系统不符合人体工学。随后,其研发了第二代 steady-hand 系统,提升显微器械的同时结合了微力传感器—micro-force guided cooperative control 系统,可以协助术者进行有挑战的视网膜手术,如剥膜<sup>[26]</sup>。手术时,微力传感器监测力的大小以及 steady-hand 装置减少生理颤抖,从而减少剥膜操作时出血等医源性损伤。第二代 steady-hand 系统重新设计了 tool holder 来适应各种器械的快速转换,添加了旋转功能,可以适合更复杂的眼内手术,并且没有 handheld 的局限性,在滤颤、稳定操作的同时,不会产生额外的、不需要的、无法抑制的运动。

1999 年, Das 等<sup>[27]</sup>发展了 master-slave(主从式)远程机器人系统,即其由主控制(master)和从控制(slave)两部分组成,其在一个实验室内的不同位置,两者通过实时计算机联系,医生操作主控制台操纵宏观器械,通过计算机传输,将操作按比例缩小并传递给微观器械,从而提高手术的精确度,能更好地完成眼内的各种复杂操作。随后, Das 等<sup>[27]</sup>在主从式机器人系统的基础上,发展了机器人玻璃体视网膜手术,并且采用了并联式机制,该系统使手术操作更加稳定,将眼内器械与视网膜前端定位精度从 75  $\mu\text{m}$  降至 20  $\mu\text{m}$ ,大大提高了手术安全性。其后研究发现,可以在人造眼模型内移除 380  $\mu\text{m}$  颗粒的远程机器人操作系统。

### 3.3 玻璃体视网膜手术机器人的应用

在微力传感器、稳定手以及主从式系统发展的基础上,许多科研机构研制出专为玻璃体视网膜手术设计的手术机器人。

2008 年,日本学者 Ueta 等<sup>[28]</sup>等发展了玻璃体视网膜视手术机器人原型,完成了第一次机器人辅助玻璃体视网膜手术的动物实验。该系统基于主从式系统,手术医生在操控台通过观察术野行手术操作,即眼手一致,然后将操作通过计算机,按比例传递给器械末端执行器,即手与器械的一致。该主从式操作类似于达芬奇机器人主从式操作。实验结果分别用图表和动物实验 2 种评价方式,以人手操作与机器人操作的器械顶端至目标视网膜前的 3 次最大距离的标准差的数值比较分析,该机器人系统的精确性大大优于人手操作;且用该系统成功完成了 4 例猪眼玻璃体切割,4 例视网膜血管鞘膜剥除,2 例视网膜血管穿刺术。

随后, Yoshikiida 等<sup>[29]</sup>也在主从式远程机器人系统的基础上完成了视网膜血管穿刺术+血管内注药术,在体外猪眼视网膜上成功完成了直径为 70、90 和 100  $\mu\text{m}$  的 3 次视网膜血管穿刺术,其后将穿刺管停留在血管内,可将药物完全释放于血管内。机器人实现血管内注药,为视网膜血管性疾病如静脉阻塞等,提供了新疗效的可能。

前面讲述的玻璃体视网膜手术机器人均是针对眼后段的手术。2012 年,美国学者 Rahimy 等<sup>[30]</sup>研发了可以同时完成眼前节和眼后段手术的主从式机器人系统—IRISS 系统。该机器人不仅仅可以完成圆形撕囊,而且可以完成白内障从开始到结束整个过程的吸除。该机器人现已成功完成 4 只猪眼撕囊,4 只猪眼皮质吸除。不仅如此,机械臂拥有 7 个自由度,可以给眼内手术提供高精度大范围的灵活运动,现已实现了 4 只猪眼玻璃体切割手术以及 4 只猪眼静脉穿刺。但该系统仍需要手动调校 RCM 到猪眼的切开口,若眼球位置移动,则又需不断地调整 RCM,在手术过程中需要不断地补偿操作。而现实中的眼科手术,患者不是在全身麻醉状态下,当眼球有轻微的移动时,IRISS 系统的 RCM 即需要重新调整,这阻碍了该机器人在临床上的运用。今后,可以发展跟踪及全自动系统来弥补其不足之处。

为了实现玻璃体视网膜手术,除了研发独属于其的机器人系统以外,也有法国学者 Bourges 等<sup>[31]</sup>将改良的 Stewart platform 机械臂(微观)与达芬奇机器人(宏观)相结合形成了

Hexapod surgical system (HSS) 系统。在原有的基础上,将 Stewart platform 机械臂,发展成为一个新型的、拥有 3 个自由度平移、3 个自由度旋转,一共 6 个自由度的改良机械臂<sup>[32]</sup>。改良后的 Stewart platform 机械臂可以在眼内提供亚微米级的定位,有较高的稳定性和精确度。手术者可通过显微镜观察术中情况,直接操控该机械臂,通过巩膜穿刺口进入眼内,在穿刺口处形成独立的 RCM,但是其运动范围较小,不足以适应灵活多变的眼内手术。而达芬奇机器人拥有较广的运动范围,Stewart platform 微观机械臂与达芬奇宏观运动相结合,解决了达芬奇机器人因精确度不够,RCM 不在穿刺点的缺点,弥补了 Stewart platform 运动范围小的不足,使其形成新的能够满足眼内手术的 HSS 系统。整个 HSS 操作系统仍缺少触觉反馈,并且该系统目前只实现了玻璃体切割手术,对于眼内其他复杂操作仍需进一步研究。

2016 年,英国学者通过改进手术机器人系统,在 70 岁患者眼内成功实现了第一例手术机器人辅助剥除人体眼内视网膜前膜,开启了手术机器人辅助人眼内手术的新篇章。但该机器人仅剥除了 0.01 mm 厚的前膜,对于眼内其他更为精细,以微米级别衡量的操作仍需要进一步探索。

在中国,玻璃体视网膜手术机器人的发展相对缓慢。2014 年,沈丽君教授联合北京航空航天大学杨洋教授等研发了视网膜血管搭桥手术机器人系统,对视网膜表面平行运动进行了轨迹规划和仿真,在乒乓球模型上进行了可行性分析实验,但仍需对动物实验做进一步的研究<sup>[13]</sup>。2017 年,沈丽君教授联合北京航空航天大学专家,共同研制一套辅助玻璃体视网膜显微手术机器人系统,该系统具有 5 个机械臂,可以握持眼科常用的手术器械,由医生通过控制器操控机器人 2 个机械手臂的运动路径,成功完成 15 只离体猪眼的玻璃体切割和玻璃体后脱离手术,并且未见明显的术中及术后并发症<sup>[14]</sup>。同年,沈丽君教授团队运用该系统,在爱尔兰兔活体完成了 9 例眼内视网膜激光光凝,在离体猪眼额外完成 9 例玻璃体切割,9 例视网膜异物移除,7 例视网膜血管插管,并没有出现医源性并发症,再一次证明了该系统在玻璃体视网膜手术中具有良好的精确性与稳定性,在一定程度上可以替代人手进行玻璃体视网膜手术<sup>[14]</sup>。

#### 4 总结

机器人发展迅猛,在泌尿科、骨科、妇科等都运用广泛。因眼科手术操作的特殊性,机器人在眼科方面的发展较为缓慢。在国外,辅助眼科手术机器人系统有达芬奇手术机器人、handheld 系统、steady-hand 系统、主从式玻璃体视网膜手术机器人系统、IRISS 系统和 HSS 系统等。在中国,有辅助角膜移植显微手术机器人系统、视网膜血管搭桥手术机器人系统、玻璃体视网膜显微手术机器人系统等用于辅助眼科手术机器人以及运用于辅助腹腔微创手术的“妙手 A”机器人。

运用眼科术机器人进行眼科手术,可以减少医生固有的生理颤抖,提高手术的稳定性与精确性;行眼内复杂手术,可以使操作更加平稳、精确,减少医源性损伤;机器人操作更加灵活,重

复性高;术者坐在控制台控制,较传统手术不易疲劳;缩短学习曲线;可以实现远程手术,可以避免时间和空间的局限。

相较于达芬奇机器人系统,我国手术机器人拥有微力传感器,可以进行力的反馈,使手术更加地安全。尤其对于“妙手 A”机器人系统,拥有类似于达芬奇机器人主从式系统,高自由度,且比达芬奇机器人体积小,操控更加灵巧。但是我国用于辅助眼科手术机器人,虽有力的反馈,增加手术安全性,但其自由度和操作灵活度不如达芬奇机器人及国外其他用于眼科手术机器人,目前尚缺少主从式系统,且机器人实验均基于猪眼实验或者仿真模拟操作,未来可以结合“妙手 A”系统发展提高我国主从式眼科手术机器人以及活体动物实验。

由于达芬奇机器人 RCM 点不在眼球刺入点,缺少力的反馈,以及机械臂庞大,成本昂贵,且手术中庞大的机械臂容易互相干涉。未来手术机器人可以加入跟踪及全自动系统来及时调整 RCM 位置;将微力传感器融入每种机器人系统,增加手术安全性;可以朝设计结构轻巧,操作更加灵活方向发展;可以开发新型材料,减少机器人成本及维修费用,使机器人使用更加普遍。

2001 年, Marescaux 等<sup>[33]</sup>首次实现了跨洋远程机器人操作胆囊切除手术,而目前眼科远程机器人操作是控制台与机械臂有一定距离,但仍在一个实验室内的狭义远程,这也提醒我们,发展真正意义上的眼科远程手术也是今后的一个方向,这可以使战争区、偏远地区等缺少优秀手术医生地方的患者,能够及时得到治疗。

#### 参考文献

- [1] Dubois F, Berthelot G, Levard H. Coelioscopic cholecystectomy: experience with 2006 cases [J]. World J Surg, 1995, 19(5): 748-752.
- [2] Cleary K, Nguyen C. State of the art in surgical robotics: clinical applications and technology challenges [J]. Comput Aided Surg, 2001, 6(6): 312-328. DOI:10.1002/igs.10019.
- [3] Davies BL, Hibberd RD, Ng WS, et al. The development of a surgeon robot for prostatectomies [J]. Proc Inst Mech Eng H, 1991, 205(1): 35-38. DOI:10.1243/PIME\_PROC\_1991\_205\_259\_02.
- [4] Mettler L, Ibrahim M, Jonat W. One year of experience working with the aid of a robotic assistant (the voice-controlled optic holder AESOP) in gynaecological endoscopic surgery [J]. Hum Reprod, 1998, 13(10): 2748-2750.
- [5] Marescaux J, Rubino F. The ZEUS robotic system: experimental and clinical applications [J]. Surg Clin North Am, 2003, 83(6): 1305-1315, VII-VIII. DOI:10.1016/S0039-6109(03)00169-5.
- [6] Kaul S, Laungani R, Sarle R, et al. da Vinci-assisted robotic partial nephrectomy: technique and results at a mean of 15 months of follow-up [J]. Eur Urol, 2007, 51(1): 186-191; discussion 191-192. DOI:10.1016/j.eururo.2006.06.002.
- [7] Beste TM, Nelson KH, Daucher JA. Total laparoscopic hysterectomy utilizing a robotic surgical system [J]. JSLS, 2005, 9(1): 13-15.
- [8] Takemura H. Robot-assisted coronary artery bypass [J]. Circ J, 2014, 78(2): 313-314.
- [9] Liverneaux PA, Hendriks S, Selber JC, et al. Robotically assisted microsurgery: development of basic skills course [J]. Arch Plast Surg, 2013, 40(4): 320-326. DOI:10.5999/aps.2013.40.4.320.
- [10] 胡一达, 李大寨, 宗光华, 等. 角膜移植显微手术机器人系统的研究 [J]. 高技术通讯, 2005, 15(1): 49-53.  
Hu YD, Li DZ, Zong GH, et al. Researches on robotic microsurgery system for corneal grafting [J]. Chin High Technol Letters, 2005, 15(1):

- 49-53.
- [11] 王树新, 王晓新, 张建勋, 等. 辅助腹腔微创手术的新型机器人“妙手 A”[J]. 机器人技术与应用, 2011, (4): 17-21. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6437.2011.04.005.
- [12] 国内首台微创外科手术机器人“妙手 A”(MicroHand A) 面世[J]. 微创医学, 2010, 5(5): 430.
- [13] 肖晶晶, 杨洋, 沈丽君, 等. 视网膜血管搭桥手术机器人系统的研究[J]. 机器人, 2014, 36(3): 293-299. DOI: 10.3724/SP. J. 1218.2014.00293.  
Xiao JJ, Yang Y, Shen LJ, et al. A robotic system for retinal vascular bypass surgery[J]. Robot, 2014, 36(3): 293-299. DOI: 10.3724/SP. J. 1218.2014.00293.
- [14] 陈亦棋, 张超特, 洪明胜, 等. 辅助玻璃体视网膜显微手术机器人系统的研制及应用[J]. 中华实验眼科杂志, 2017, 35(1): 38-41. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2017. 01. 008.  
Chen YQ, Zhang CT, Hong MS, et al. Development of cooperative robot-assistant surgery system for vitreoretinal microsurgery and its feasibility test in an animal model[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2017, 35(1): 38-41. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2017. 01. 008.
- [15] Tsirbas A, Mango C, Dutton E. Robotic ocular surgery[J]. Br J Ophthalmol, 2007, 91(1): 18-21. DOI: 10.1136/bjo.2006.096040.
- [16] Bourges JL, Hubschman JP, Burt B, et al. Robotic microsurgery: corneal transplantation[J]. Br J Ophthalmol, 2009, 93(12): 1672-1675. DOI: 10.1136/bjo.2009.157594.
- [17] Bourcier T, Becmeur PH, Mutter D. Robotically assisted amniotic membrane transplant surgery[J]. JAMA Ophthalmol, 2015, 133(2): 213-214. DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2014.4453.
- [18] Bourcier T, Nardin M, Sauer A, et al. Robot-assisted pterygium surgery: feasibility study in a nonliving porcine model[J/OL]. Transl Vis Sci Technol, 2015, 4(1): 9[2017-03-20]. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4338915/. DOI: 10.1167/tvst.4.1.9.
- [19] Bourcier T, Chammas J, Becmeur PH, et al. Robotically assisted pterygium surgery: first human case[J]. Cornea, 2015, 34(10): 1329-1330. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000561.
- [20] 梁庆丰, 李大寨, 胡一达, 等. 辅助角膜移植显微手术机器人系统的实验性应用研究[J]. 中华眼科杂志, 2009, 45(9): 823-826. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2009. 09. 013.  
Liang QF, Li DZ, Hu YD, et al. Operation of cornea grafting microsurgery robot system[J]. Chin J Ophthalmol, 2009, 45(9): 823-826. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2009. 09. 013.
- [21] Bourla DH, Hubschman JP, Culjat M, et al. Feasibility study of intraocular robotic surgery with the da Vinci surgical system[J]. Retina, 2008, 28(1): 154-158. DOI: 10.1097/IAE.0b013e318068de46.
- [22] Jagtap AS, Riviere CN. Applied force during vitreoretinal microsurgery with handheld instruments[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2004, 4: 2771-2773. DOI: 10.1109/IEMBS.2004.1403792.
- [23] Iordachita I, Sun Z, Balicki M, et al. A sub-millimetric, 0.25 mN resolution fully integrated fiber-optic force-sensing tool for retinal microsurgery[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2009, 4(4): 383-390. DOI: 10.1007/s11548-009-0301-6.
- [24] Hubschman JP, Bourges JL, Choi W, et al. 'The Microhand': a new concept of micro-forceps for ocular robotic surgery[J]. Eye (Lond), 2010, 24(2): 364-367. DOI: 10.1038/eye.2009.47.
- [25] Riviere CN, Rader RS, Thakor NV. Adaptive canceling of physiological tremor for improved precision in microsurgery[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 1998, 45(7): 839-846. DOI: 10.1109/10.686791.
- [26] Uneri A, Balicki MA, Handa J, et al. New steady-hand eye robot with micro-force sensing for vitreoretinal surgery[J]. Proc IEEE RAS EMBS Int Conf Biomed Robot Biomechatron, 2010, 2010(26-29): 814-819. DOI: 10.1109/BIOROB.2010.5625991.
- [27] Das H, Zak H, Johnson J, et al. Evaluation of a telerobotic system to assist surgeons in microsurgery[J]. Comput Aided Surg, 1999, 4(1): 15-25.
- [28] Ueta T, Yamaguchi Y, Shirakawa Y, et al. Robot-assisted vitreoretinal surgery: development of a prototype and feasibility studies in an animal model[J]. Ophthalmology, 2009, 116(8): 1538-1543. DOI: 10.1016/j.ophtha.2009.03.001.
- [29] Ida Y, Sugita N, Ueta T, et al. Microsurgical robotic system for vitreoretinal surgery[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2012, 7(1): 27-34. DOI: 10.1007/s11548-011-0602-4.
- [30] Rahimy E, Wilson J, Tsao TC, et al. Robot-assisted intraocular surgery: development of the IRISS and feasibility studies in an animal model[J]. Eye (Lond), 2013, 27(8): 972-978. DOI: 10.1038/eye.2013.105.
- [31] Bourges JL, Hubschman JP, Wilson J, et al. Assessment of a hexapod surgical system for robotic micro-macro manipulations in ocular surgery[J]. Ophthalmic Res, 2011, 46(1): 25-30. DOI: 10.1159/000314719.
- [32] Jensen PS, Grace KW, Attariwala R, et al. Toward robot-assisted vascular microsurgery in the retina[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 1997, 235(11): 696-701.
- [33] Marescaux J, Smith MK, Fölscher D, et al. Telerobotic laparoscopic cholecystectomy: initial clinical experience with 25 patients[J]. Ann Surg, 2001, 234(1): 1-7.

(收稿日期: 2017-05-20 修回日期: 2017-11-26)

(本文编辑: 刘艳)

## 消息

## 第七届全国神经眼科学术会议通知

由中华医学会眼科学分会神经眼科学组主办、中国人民解放军总医院承办、郑州市第二人民医院协办的第七届全国神经眼科学术会议将于 2018 年 7 月 13-15 日在河南省郑州市举办。7 月 13 日为现场注册、报到, 2018 年 7 月 14 日-15 日进行大会学术活动。本次会议将邀请国内外著名的神经眼科、神经内科、眼科及其他相关学科专家到会, 就神经眼科学疾病与不同学科专业交叉研究领域作专题介绍及神经眼科病例讨论。大会组委会欢迎全国医师踊跃投稿参会。

投稿摘要不超过 800 字, 注明文题、作者单位、邮编、姓名, 正文包括目的、方法、结果和结论。本次大会只通过网上投稿, 不接受邮寄投稿。请登录大会投稿网站 [www.cnos.org.cn](http://www.cnos.org.cn) 注册个人账户, 登录后选择投稿给第七届全国神经眼科学术会议。大会接受中文及英文投稿, 但不得同时递交中文和英文稿件。截稿日期为 2018 年 5 月 20 日。

会议地址: 郑州市航海路 90 号河南省郑州市第二人民医院 7 号楼二楼德本堂。联系方式: 13661371818(孟菁)、18600288822(赖梦莹)、010-85158141(黄莉), Email: cmacnos@163.com。

第七届全国神经眼科学术会议组委会

2018 年 3 月 15 日