

计算机辅助技术在颅颌面整形中的应用

张琼尹, 陈 华*

内蒙古医科大学第一临床医学院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2023年9月6日; 录用日期: 2023年10月1日; 发布日期: 2023年10月10日

摘 要

颌面畸形是颅颌面整形外科的常见疾病, 其病因主要为先天性颅颌面骨发育畸形、创伤等, 患者不仅存在颅颌面畸形, 而且可引发颅内高压、视力及口腔功能受损等并发症, 需及时干预治疗, 重建生理解剖结构, 改善局部功能障碍。但是, 颅颌面骨骼结构复杂, 临床矫治、修复难度较大。近年来, 颅颌面整形外科的计算机辅助技术发展迅速, 整形外科医生转向技术, 不仅要改善他们的结果, 还要改善他们获得高质量结果的频率。从其效率和权宜之计的角度来看, 今天几乎所有人类的创造力都以技术的存在为条件。基于计算机的技术的进步, 包括虚拟现实模拟器, 增强现实, 虚拟整形手术软件和计算机辅助设计/计算机辅助制造系统, 为整形外科的教学和实践带来了新的模式。新技术为传统手术提供的效率可以通过更简化的检查和更流畅的术中体验, 并相信手术的准确性, 为颅颌面畸形的治疗带来了新希望。计算机辅助技术能够快速、准确地识别大量的影像学资料来辅助诊断, 其在整形外科疾病的诊断、疗效评估等方面具有较大潜力。本文将探讨计算机辅助技术在颅颌面整形外科的应用效果。

关键词

整形外科, 计算机辅助技术, 颅颌面部, 术中导航

Application of Computer-Assisted Technology in Cranial and Maxillofacial Surgery

Qiongyin Zhang, Hua Chen*

First Clinical Medical College, Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Sep. 6th, 2023; accepted: Oct. 1st, 2023; published: Oct. 10th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 张琼尹, 陈华. 计算机辅助技术在颅颌面整形中的应用[J]. 临床医学进展, 2023, 13(10): 15673-15681.
DOI: 10.12677/acm.2023.13102192

Abstract

Maxillofacial deformity is a common disease in craniofacial plastic surgery. Its main causes are congenital craniofacial bone development deformity and trauma. Patients not only have craniofacial deformity, but also can cause complications such as intracranial hypertension, impaired vision and oral function. It is necessary to intervene in time, rebuild physiological and anatomical structure and improve local dysfunction. However, the structure of cranial and maxillofacial bones is complex, and clinical correction and repair are difficult. In recent years, computer-assisted technology in cranial-maxillofacial plastic surgery has developed rapidly, with plastic surgeons turning to technology not only to improve their outcomes but also the frequency of obtaining high-quality results. From its efficiency and expediency perspective, almost all human creativity today is conditioned on the existence of technology. Advances in computer-based technology, including virtual reality simulators, augmented reality, virtual plastic surgery software, and computer-aided design/computer-aided manufacturing systems, have brought new models to the teaching and practice of plastic surgery. The efficiency that the new technology provides for traditional surgery can be achieved with a simpler examination and a smoother intraoperative experience, and believe in the accuracy of surgery, bringing new hope for the treatment of cranial and maxillofacial deformities. Computer-aided technology can quickly and accurately identify a large number of imaging data to assist the diagnosis, which has great potential in the diagnosis and efficacy evaluation of plastic surgery diseases. This paper will explore the effectiveness of computer-assisted techniques in cranial and maxillofacial plastic surgery.

Keywords

Plastic Surgery, Computer-Assisted Technology, Cranial and Maxillofacial, Intraoperative Navigation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由于面部颅骨的复杂解剖结构及其重建的美学和功能要求很高,因此颅颌面的整形手术对外科医生提出了最高的要求。如果确定性颅颌面手术治疗有时只能以相当长的延迟进行,以造成其他危及生命的损伤,则更是如此。为了考虑到这些先决条件,随着计算机辅助设计和计算机辅助建模(CAD/CAM)软件的发展,促进了各种专有软件程序的发展,用于颅颌面骨骼的计划和实施手术。现代软件允许外科医生通过进行三维测量来分析患者,并通过镜像成像、分割或插入未改变或理想的骨骼结构来操纵变形或缺失的解剖结构。虚拟重建可以通过使用CAD/CAM过程构建的定制立体光刻模型(slm)、植入物、切割夹具或咬合夹板,或通过术中导航的形式进行图像引导手术,将虚拟重建转移到现实(患者)中,众多技术包括虚拟现实,增强现实,三维打印,人工智能等计算机技术能更好地服务于整形美容行业。数字化参与的手术过程大致分为术前设计,术中导航,术后评估。术前设计:虚拟手术设计系统包括立体眼镜、触觉反馈设备、监视器、半透明镜和其他用于术前设计的设备。摄像机跟踪佩戴立体镜的操作员的位置,以确保可以从不同方向查看图像。外科医生进行术区设计并使用反馈装置进行调整,以确定最佳解决方案。术中导航:尽管虚拟现实的准确性非常适合临床需求,但操作员总是在操作区域和显示器之间来回

切换, 这可能会导致操作员不适并增加操作时间。目前, 固定在骨组织的标记物是最准确的注册方法, 但由于其在实践中的侵入性与创伤性, 它们通常不被医生和患者接受。增强现实技术应运而生, 增强现实技术可以避免侵入性标记, 他可以通过 AR 显示器直观地观察到术前标记。术后评估: 借助计算机模拟技术为移植物的设计提供指导, 并用其进行术后效果的预测与评估, 使用计算机模拟手术提供指导可缩短手术时间, 提高术后效果的可预测性。对于整形修复重建的患者, 可以通过计算机模拟技术预先进行设计和模拟术中重建来预测术后效果, 以此帮助整形外科医师制定精准的手术方案, 缩短手术时间, 改善预后。

1.1. 计算机辅助技术在整形领域中的临床应用

在颅颌面外科(颅颌面)手术中, 对计算机辅助方法的需求很大, 这些方法能够模拟手术干预, 从而提供对患者术后外观的真实预测。与传统的手术计划系统相比, 计算机辅助手术计划有许多优点。生成了患者的虚拟模型, 就可以广泛地研究手术的各种情况及其对解剖结构的影响。由于更好的准备, 更短的操作时间和更低的成本, 质量保证是直接的好处。改善患者的美学是颅颌面手术干预的首要目标或主要目标之一, 精确和计划是重建手术的关键。继发于眼眶筛骨骨折的内眦肌腱撕脱会导致严重的美学和功能障碍。肌腱应重新定位在后泪嵴。由于眼眶筛骨骨折的复杂性, Alamillos 等人[1]借助计算机辅助计划和手术导航, 可以轻松精确地定位内眦肌腱的位置, 并开发了一种创新的导航辅助技术, 提高了内眦重新定位的可靠性和安全性。他们认为计算机辅助手术提供了一种高度可靠的工具, 尤其是在缺少解剖标志的情况下。术中导航通过与虚拟规划进行比较提供骨标志的可视化, 从而能够准确定位后泪嵴的位置。通过镜像未受影响的眼眶, 定位受影响眼眶的后泪嵴。手术导航将使我们能够可靠地重新定位内眦。计划创伤患者的时间在 15 到 35 分钟之间。通过内侧斜视的虚拟计划添加到总计划时间中的时间是 10 分钟。导航会增加 20 分钟的运行时间。但是, 使用导航系统可以节省整体手术时间, 因为它减少了不确定性并增加了外科医生的信心。手术导航的缺点是该技术的初始成本。颏成形术是一种广泛使用的外科手术, 主要包括在下颌骨前下部进行截骨术, 通过允许下巴在三维空间移动并将其定位到新的所需位置来矫正下巴畸形。根据畸形的类型, 可以使用不同的颏成形术技术。是基于使用手术导板从下巴应转移到的一侧切开骨条, 然后使用相同的骨条填充在另一侧形成的骨隙。这样, 通过将解剖的骨段放置在正确的位置和角度, 将消除下巴的偏差和由此产生的不对称性。Keyhan 等人[2]用计算机辅助颏成形术技术, 用于矫正下巴不对称。与传统技术相比, 数字设计技术的应用可以为外科医生和患者提供各种好处。与以前的传统方法相比, 更精确的截骨术和精确定位相邻的敏感结构, 例如精神和牙根, 这对于减少可能的损害非常重要。然而, 应该注意的是, 使用这种技术不一定能有效治疗下巴或下颌骨的所有偏差和不对称。Gladilin 等人[3]提出了一个计算机辅助颅颌面手术干预计划的总体框架, 该框架基于从 3D 计算机断层图像重建患者解剖结构和软组织变形的有限元分析。由于面部解剖结构的复杂性和软组织的生物力学行为, 手术影响的结果并不总是仅仅根据外科医生的直觉和经验来预测。使用个体断层扫描数据和一致的软组织力学数值模拟的软组织结果计算模型可以为外科医生在计划阶段提供有价值的信息。在他们的临床案例研究处理了直接和反向手术问题的解决方案(即软组织预测, 反向植入物形状设计)的例子表明, 开发的方法为准确预测和优化美容手术结果提供了有用的工具。Zhang 等人[4]报道了将三维虚拟重建可自定义立体光刻模型(slm)转移到现实(患者)。模型用于颞下颌关节(TMJ)肋软骨移植重建患者的 SLM 的数字化术前分割、截骨和重建钢板成形。与对照组相比, 行计算机辅助颞下颌关节重建术的患者手术时间明显缩短; 然而, 与接受传统 TMJ 重建的患者相比, 准确性没有显著差异。Chandran 等人[5]在先前导航方案的应用基础上, 对 TMJ 骨性强直患者采用了类似的方法。术前进行 TMJ 窝和髁突头的数字切除, 制作切割导片以复制切除, 并将合适的同种异体假体适应于 SLM 模型, 成功完成全关节重建。

Katikaneni 等人[6]将早期计算机辅助下颌重建的经验与纽约大学的经验相结合,并进行了与 Roser 等人类类似的研究。在 16 例患者和 104 例截骨手术中,所有测试位置与术前计划的平均线性方差为 1.49~4.91 mm。与下颌骨截骨准确度(与计划差 1.49 mm)和腓骨段长度(差 2.27 mm)相比,横向尺寸是最难以预测的位置(平均差 4.91 mm)。更多的研究正在进行中,这些研究将评估相对于没有计算机计划治疗的同类患者的成本。Lethaus 等[7]报道了一种类似的方法,使用计算机辅助的游离腓骨移植重建面部中部缺损,并取得了良好的效果。计算机辅助手术也应用于无微血管游离皮瓣的下颌骨重建。Zhou 等[8]报道了使用三维术前计划重建术后下颌缺损。在他们的研究中,使用三维规划软件,将未受影响的一侧镜像到下颌缺损的影响侧,以创建理想的下颌轮廓。然后通过烧灼树脂技术在基于镜像数据的 SLM 模型上制作植骨盘。这些托盘包括下颌骨缺损,在切除髁突的情况下,包括受影响侧的髁头。然后用皮质松质骨移植物填充托盘并插入适当位置。6 例患者均行种植义齿康复治疗。AR 和 VR 技术在临床医疗中显示出其巨大的潜力。三维可视化与 VR 技术可让医生在接近真实的可视化 VR 环境中进行仿真手术操作、选择最佳手术方案。AR 技术可以让整形外科医生完成精准手术。Pietruski 等人[9]的研究目的是比较使用切割指南和基于简单和导航增强现实技术的两种不同的术中导航系统进行的模拟下颌截骨术的准确性。这些结果表明,基于虚拟现实的术中导航系统可以在未来的日常临床实践中使用。虽然虚拟现实技术仍有待改进,但它已经可用于数字导航数据的呈现,以增强外科医生在下颌切除和重建过程中的意识和手眼协调能力。Tsai 等人[10]使用触觉装置进行手术模拟,以减少突出的颧骨并将植入物插入下巴。下颌角缩小模拟也使用基于 VR 的系统进行[11]。对于下颌重建手术,Woo 等人[12]使用计算机模拟进行了 3D 虚拟规划。Olsson 等人[13]针对颅颌面重建手术,使用带有沉浸式工作台和 3D 眼镜的装置。工作台由半透明镜子、显示器和触觉装置组成,以改善外科医生在手术计划期间的沉浸感。开发的系统是按照真实的外科手术设计的,使外科医生能够使用 3D 患者网格模型模拟下颌切除术和腓骨移植到下颌缺损部位。它还允许外科医生测试和找到血管和皮肤浆的配置在患者皮肤模型中使用触觉装置进行切口和闭合唇裂,模拟唇裂修复手术以进行手术计划。基于 AR 的导航系统已被引入正颌手术,提供真实手术视图的叠加图像和虚拟手术计划作为指导 Badiali 等人[14]使用 HMD 显示叠加图像,以允许外科医生在颌面部截骨术后重新定位患者骨骼时遵循虚拟手术计划。Zinser 等人和 Mischkowski 等人[15]使用带有摄像头的交互式便携式显示器在手术过程中轻松处理该系统,并在其上显示叠加图像。Pratt 等人[16]使用 AR 可以帮助重建手术中血管蒂皮瓣的准确识别,解剖和执行。从术前 CTA 扫描中描绘出骨,血管,皮肤,软组织结构和相关血管穿支器的单独体积,以使用两个互补的分割软件包生成三维图像。这些被转换为多边形模型,并通过 HoloLens™ 立体头戴式显示器中的自定义应用程序进行渲染。在术中,手术外科医生使用跟踪手势和语音命令的组合手动向各自的受试者注册模型;AR 用于辅助导航和准确解剖。通过 AR 叠加层识别血管穿孔的地下位置与通过可听多普勒超声获得的位置进行比较。通过 HoloLens 辅助的初步病例系列,手术外科医生能够证明穿孔血管的精确和有效定位。3D 打印技术又称快速成型(rapid prototyping)技术、增材制造(additive manufacturing)技术。3D 打印技术是采用基于三维数字化数据逐层制造方式立体打印模型[17]。将 3D 打印模型应用于临床,能够准确诊断、制定手术方案和多科室医生会诊,便于医患更有效地沟通;还可以用于复杂手术模拟演练,提高手术成功率;可在 3D 骨骼模型上模拟钛板钛钉固定,减少手术时间。对于颅眶骨缺损患者,可先在三维头颅模型上预弯钛网,加快手术进程。有研究利用 3D 打印的颅骨缺损骨骼模型翻模制成 EH 复合型人工骨,修复颅骨缺损,取得较好疗效[18]。3D 打印和计算机软件规划在面部整形和重建手术中得到了广泛的应用。计算机辅助设计和制造(CADCAM)的结合为术前规划、钢板轮廓和定制患者特定植入物(psi)提供了手术模型。报道的好处包括重建的准确性提高,术中时间缩短,金属疲劳减少,使用方便。在 Wilde 等[19]人的一项多中心研究中,他们评估了使用患者特异性 CAD/CAM 重建钢板和手术切割导板进行下颌重建的结果和外科医生的主观评价。在他们的研究中,他

们评估了 30 个患者特定的 3D 打印下颌板进行重建。虚拟手术计划(VSP)的中位时间为 35 分钟(范围: 20~75 分钟)。由于颅颌面骨的不规则性, 在遭受创伤和占位性病变的患者身上重建眼眶-上颌骨-颧骨复合体(OMZC)具有挑战性。为了克服精确 OMZC 重建的挑战, Xue 等人[20]在计算机断层扫描的基础上打印了单个三维(3D)疾病模型和镜像 3D 重建模型。通过排练外科手术对 3D 疾病模型进行术前计划, 并使用镜像 3D 模型在解剖学上预成型包括钛和可吸收网或板在内的支架。取得了许多好处, 包括更精确的 OMZC 重建, 流畅和顺利的手术程序, 更短的手术时间, 更少的失血以及改善颅颌面形状的美容效果。无复视、感染、异物反应、眼球突出、咬合关系紊乱、血肿等并发症。患者在随访期间对功能和美学结果感到满意。Jeong 等人[21]连续将 104 名眼眶骨折患者接受了计算机模拟设计的预制钛-Medpor 网状植入物植入。为每位患者处理术前计算机断层扫描(CT)数据, 并制作快速原型(RP)模型。未受伤的一侧同时被镜像并叠加到受创伤的一侧, 以创建 RP 模型的镜像。作者制造了钛-Medpor 植入物, 以在术中重建三维轨道结构。将预制的钛-Medpor 植入物插入有缺陷的眼眶壁并固定。立即拍摄术后 CT 图像以评估重建的轮廓, 并比较术前和术后眶内体积。结果植入物相对于原始眼眶轮廓正确定位在矢状面、轴向平面和冠状面。未受伤侧和创伤侧术前平均眶内容积分别为 $21.39 \pm 1.93 \pm 23.17 \text{ cm}$, 术后平均眶内容积为 $2.00 \pm 20.74 \text{ cm}$ 。所有重建均成功, 无术后并发症。3D 打印技术结合计算机辅助逆向工程设计制作的外科手术导板, 将手术设计在术中实现。手术导板分为截骨导板和塑形导板两类。对于复杂的先天性颅面畸形整复手术, 术前模拟设计好眼眶截骨前移、骨瓣旋转重塑的术式, 根据预期达到的眼眶形态及骨瓣移动的距离设计并 3-D 打印塑形定位导板, 术中引导额-眶骨瓣和眶上额桥就位, 可获得良好的额部形态[22]。有研究在应用腓骨瓣修复下颌骨组织缺损中, 同时应用了腓骨截骨导板和下颌骨重建塑形导板, 在截骨导板的引导下切割腓骨, 获得腓骨瓣, 并应用相应的塑形导板准确塑形和植入, 缩短了骨瓣离体缺血时间, 简化了手术步骤[23]。Sun H 等人[24]在对半侧面短小症患者进行截骨牵引手术时, 预制 3D 导板具有截骨指导、牵引器定位和神经血管标记的功能; 术中按照导板进行操作, 可快速且准确地完成截骨、放置牵引器等步骤, 并有效保护下牙槽神经血管束。对于下颌角截骨术, 利用 CT 扫描数据三维重建后, 使用逆向工程技术设计下颌角截骨导板并 3D 打印, 应用导板引导下颌角截骨手术, 可获得满意的、更精确的效果[25]。在正颌外科中, 3D 打印的截骨导板和数字化(牙合)板也逐步应用[26]。数字化(牙合)板依据上下颌牙齿(牙合)面的解剖形态进行 3D 打印, 过程更加简便, 效果更加精确[27]。钛网在修复颅骨缺损方面应用已久, 有学者对 109 例颅骨缺损患者的治疗过程进行回顾性分析, 应用数字化三维成形钛网的手术组手术时间及术后并发症发生率明显低于手工塑形组[28]。对于严重的颅颌面创伤、复杂的骨缺损等情况, 采取传统的修复方法难以精确修复, 而通过 3D 打印技术定制个性化修复体能够达到很好的修复效果[29]。随着材料科学的发展, 近年来有学者尝试以生物材料代替以往的材料, 打印出可直接用于人体的植入物。Saijo 等[30]采用磷酸三钙粉末打印出个性化假体, 术中可直接使用, 无需雕刻。国内学者应用 CAD 镜像法设计颅眶缺损修复体。随着数字化技术、材料科学、分子和细胞生物学的不断发展, 未来 3D 生物打印技术会使再生修复、整形外科等领域发生巨大变化。基于数字化可视化技术的手术定向导航可以术中动态可视实时导航, 控制手术入路和操作精度, 保护重要组织结构不受损伤[31]。基于数字化智能化计算机辅助技术的机器人手术, 将使整形外科手术产生革命性变革[32]。机器人手术能够提供三维立体的视觉图像, 放大的视野, 手术器械关节具有多方向活动自由度, 手术精度高, 能消除不必要颤动, 突破手术操作空间局限, 微创的手术使创口最小化。不久的将来, 机器人手术能协同内窥镜技术实施微创除皱术; 能进行更加精准的下颌角弧形截骨术等腔隙内手术。

1.2. 计算机辅助技术在整形领域中的教育应用

计算机辅助技术正在成为解决现代外科教育和受训者面临的挑战的有效资源。外科训练一直受困于

20世纪早期由霍尔斯特德开创的模式。“看一个, 做一个, 教一个”一直是规定的教育经验。在这种学徒式的培训模式中, 所有的培训都是在活着的病人身上进行的, 如果受训者表现不佳, 病人就会受到伤害。即使外科医生没有错误, 他或她也几乎总是比经验丰富的医生花更长的时间来完成一个手术。这两种结果目前都是不可接受的。虽然手术模拟的概念并不新鲜, 但新的是数字时代极大地扩展了模拟环境的可能性。基于射线照相图像、图纸和/或照片的模型图像现在可以在计算机屏幕上或在显示模拟结构的护目镜上可视化。最初开发的模型需要功能强大的计算机, 而这些计算机并不适用于一般用途。最近, 这些模型在某种程度上得到了简化, 普通个人在家里和办公室里都可以使用比以前强大得多的电脑。这两项发展使我们更接近于让模拟成为学生和住院医生日常学习经验的一部分。Kantar等[33]将13名整形外科住院医师被随机分配到数字模拟器或教科书, 展示单侧唇裂修复。在随机化之前和之后评估以下参数: 手术步骤知识、程序置信度、三维石头模型上的标记性能以及使用动手/高保真三维触觉模型的手术性能。还评估了参与者对任一教育工具的满意度。两位专家评价员对标记和手术性能进行了盲目评分。结果表明: 所有参与者对数字模拟器作为教育工具的满意度更高($27.7 \pm 2.5 \pm 14.4$; $p < 4.0$)。

2. 总结与展望

循证医学的个体化——精准医学——迫在眉睫。计算机辅助技术将加速精准医疗的发展。鉴于跨医疗保健平台的数据采集存在差异, 机器学习是吸收历史数据并为患者和医疗保健提供者带来利益的关键。输出函数可以补充整形外科医生的认知, 以影响临床决策、预测干预措施的成功并计算术后并发症的风险[34]。目前关于开发可以执行或补充手术的计算机辅助医疗系统的科学证据有限, 干预措施仍处于起步阶段。然而, 人们对该领域的兴趣持续增长。人工智能机器人手术系统在手术时为外科医生提供导航辅助, 已被证明可以帮助术中决策[35]。摄像机记录手术过程, 识别解剖结构, 使用计算机辅助技术确定手术阶段, 并建议手术团队如何最好地进行。三维规划、解剖定位和手术导航可以结合起来, 协助外科医生在围手术期做出实时决策。目前的系统非常基础, 远远无法执行复杂的外科手术。然而, 在未来, 他们可能能够执行更复杂的任务。在提高手术效率和效果、缩短手术时间和患者麻醉时间以及减少患者从手术中恢复所需的时间方面, 有可能取得进展。计算机辅助医疗技术还为中低收入国家改善手术效果提供了令人兴奋的机会, 这些国家的外科医生数量及其专业知识可能不够理想, 而且资源稀缺[36]。武装部队还可以采用自主手术机器来处理远离医疗中心的伤害。与其他专业一样, 整形外科中计算机辅助医疗系统辅助手术的成本效益分析尚不清楚。在国家医疗保健环境中广泛采用之前应该确定它。在未来, 计算机辅助技术可以让患者在家中得到更轻松的管理, 这将为医疗保健系统节省资金, 并减少对患者不必要的滋扰。尽管目前的证据很少, 并且一些应用仍然存在争议, 但相信计算机辅助技术未来可能会帮助整形外科医生监测皮肤伤口稳态、伤口愈合进度和生理参数。为了确保计算机辅助医疗在医疗保健环境中得到广泛使用和适当应用, 必须由临床医生来决定哪些未来的医疗保健目标是重要的。然后, 他们必须与计算机科学家密切合作, 以确保计算机辅助技术的算法具有临床相关性并可由医疗保健专业人员解释。详细说明其成本效益、安全性和保障的框架必须是广泛的。为公司训练算法提供的数据必须安全并确保机密性。如果行业使用来自医疗保健系统的数据来开发算法, 那么保持高道德标准并且医疗保健系统可以获得长期利益非常重要。算法必须经过验证, 支持数据安全性和有效性的证据必须全面且易于获取。通过对患者数据进行建模以提供卓越的医疗保健体验, 自动化系统的预期标准必须至少与临床医生的标准相当。认识计算机辅助医疗的局限性很重要。使用计算机辅助技术获得的输出取决于准确且公正的数据输入。如果有偏见, 模式和预测可能不可靠[37]。如果他们完全依赖计算机辅助技术使用不合适的数据做出临床决策, 患者可能会在没有提供充分知情同意的情况下接受手术, 这可能会损害患者的自主权[38]。尽管有人担心计算机辅助医疗的发展可能会导致许多医疗保健专业人员失业, 但计算机似乎无法

复制医生根据临床经验得出的“直觉”做出的决定。同样, 有人认为医疗保健的“人为因素”至关重要且无法消除。尽管机器人系统已被证明能够以高标准执行基本手术技能, 要实现如此复杂的自主机器人手术, 还需要做更多的工作[39]。因此, 计算机可能会成为辅助医生的有用工具, 但不会取代医生[40]。计算机辅助医疗和整形外科之间的合作还处于起步阶段, 但发展迅速且前景广阔。医学成像处于领先地位, 并显示出提高筛查程序的准确性和效率以及减少人为错误的潜力。未来, 计算机辅助医疗能在为重建和美容外科实践提供信息方面显示出潜力。对于外科医生来说, 与计算机科学家合作非常重要, 这样才能将结果导向改善患者护理, 并了解与将计算机辅助技术应用到日常手术实践相关的重要限制和伦理问题。

参考文献

- [1] Alamillos, F.J., Sanjuan, A., Centella, I. and Dean, A. (2023) Increased Reliability in Medial Canthal Tendon Repositioning in Nasoorbitoethmoidal Fractures with Computer-Assisted Surgery and Surgical Navigation. *Plastic and Reconstructive Surgery—Global Open*, **11**, e5026. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000005026>
- [2] Keyhan, S.O., Azari, A., Yousefi, P., Cheshmi, B., Fallahi, H.R. and Valipour, M.A. (2020) Computer-Assisted Horizontal Translational Osseous Genioplasty: A Simple Method to Correct Chin Deviation. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery*, **42**, Article No. 36. <https://doi.org/10.1186/s40902-020-00278-z>
- [3] Gladilin, E. and Ivanov, A. (2009) Computational Modelling and Optimisation of Soft Tissue Outcome in Cranio-Maxillofacial Surgery Planning. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, **12**, 305-318. <https://doi.org/10.1080/10255840802529925>
- [4] Zhang, S., Liu, X., Xu, Y., et al. (2011) Application of Rapid Prototyping for Temporo-Mandibular Joint Reconstruction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **69**, 432-438. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.05.081>
- [5] Chandran, R., Keeler, G.D., Christensen, A.M., et al. (2011) Application of Virtual Surgical Planning for Total Joint Reconstruction with a Stock Alloplast System. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **69**, 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.03.010>
- [6] Katikaneni, R., Hirsch, D., Markiewicz, M., et al. (2010) Computer Assisted Virtual Planning in Maxillofacial Reconstruction Using Microvascular Free Fibula Flaps. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **68**, e26-e27. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.06.038>
- [7] Lethaus, B., Kessler, P., Boeckman, R., et al. (2010) Reconstruction of a Maxillary Defect with a Fibula Graft and Titanium Mesh Using CAD/CAM Techniques. *Head & Face Medicine*, **6**, Article No. 16. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-6-16>
- [8] Zhou, L.B., Shang, H.T., He, L.S., et al. (2010) Accurate Reconstruction of Discontinuous Mandible Using a Reverse Engineering/Computer-Aided Design/Rapid Prototyping Technique: A Preliminary Clinical Study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **68**, 2115-2121. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2009.09.033>
- [9] Pietruski, P., Majak, M., Świątek-Najwer, E., Żuk, M., Popek, M., Mazurek, M., Świecka, M. and Jaworowski, J. (2019) Supporting Mandibular Resection with Intraoperative Navigation Utilizing Augmented Reality Technology—A Proof of Concept Study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, **47**, 854-859. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2019.03.004>
- [10] Tsai, M.D., Liu, C.S., Liu, H.Y., et al. (2011) Virtual Reality Facial Contouring Surgery Simulator Based on CT Transversal Slices. *Proceedings of the 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, Wuhan, 10-12 May 2011, 1-4. <https://doi.org/10.1109/icbbe.2011.5780422>
- [11] Wang, Q., Chen, H., Wu, W., et al. (2012) Real-Time Mandibular Angle Reduction Surgical Simulation with Haptic Rendering. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, **16**, 1105-1114. <https://doi.org/10.1109/TITB.2012.2218114>
- [12] Woo, T., Kraeima, J., Kim, Y.O., et al. (2015) Mandible Reconstruction with 3D Virtual Planning. *Journal of International Society for Simulation Surgery*, **2**, 90-93. <https://doi.org/10.18204/JISSiS.2015.2.2.090>
- [13] Olsson, P., Nysjo, F., Rodriguez-Lorenzo, A., et al. (2015) Haptics-Assisted Virtual Planning of Bone, Soft Tissue, and Vessels in Fibula Osteocutaneous Free Flaps. *Plastic and Reconstructive Surgery—Global Open*, **3**, e479. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000000447>
- [14] Badiali, G., Ferrari, V., Cutolo, F., et al. (2014) Augmented Reality as an Aid in Maxillofacial Surgery: Validation of a Wearable System Allowing Maxillary Repositioning. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, **42**, 1970-1976. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.09.001>

- [15] Mischkowski, R.A., Zinser, M.J., Kübler, A.C., *et al.* (2006) Application of an Augmented Reality Tool for Maxillary Positioning in Orthognathic Surgery—A Feasibility Study. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, **34**, 478-483. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2006.07.862>
- [16] Pratt, P., Ives, M., Lawton, G., Simmons, J., Radev, N., Spyropoulou, L. and Amiras, D. (2018) Through the HoloLens™ Looking Glass: Augmented Reality for Extremity Reconstruction Surgery Using 3D Vascular Models with Perforating Vessels. *Euro Radiology Experimental*, **2**, Article No. 2. <https://doi.org/10.1186/s41747-017-0033-2>
- [17] Winder, J. and Bibb, R. (2005) Medical Rapid Prototyping Technologies: State of the Art and Current Limitations for Application in Oral and Maxillofacial Surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **63**, 1006-1015. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2005.03.016>
- [18] Cao, D., Yu, Z., Chai, G., *et al.* (2010) Application of EH Compound Artificial Bone Material Combined with Computerized Three-Dimensional Reconstruction in Craniomaxillofacial Surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*, **21**, 440-443. <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e3181cfe9bc>
- [19] Wilde, F., Hanken, H., Probst, F., *et al.* (2015) Multicenter Study on the Use of Patient-Specific CAD/CAM Reconstruction Plates for Mandibular Reconstruction. *The International Journal for Computer Assisted Radiology and Surgery*, **10**, 2035-2051. <https://doi.org/10.1007/s11548-015-1193-2>
- [20] Xue, R., Lai, Q., Sun, S., Lai, L., Tang, X., Ci, J., Zhang, Z. and Wang, Y. (2019) Application of Three-Dimensional Printing Technology for Improved Orbital-Maxillary-Zygomatic Reconstruction. *Journal of Craniofacial Surgery*, **30**, e127-e131. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000005031>
- [21] Jeong, W.S., Chang, T.J., Koh, K.S. and Choi, J.W. (2016) Customized Orbital Wall Reconstruction Using Three-Dimensionally Printed Rapid Prototype Model in Patients with Orbital Wall Fracture. *Journal of Craniofacial Surgery*, **27**, 2020-2024. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000003195>
- [22] Ni, J., Yang, B. and Li, B. (2017) Reconstructive Operation of Nonsyndromic Multiple-Suture Craniosynostosis Based on Precise Virtual Plan and Prefabricated Template. *Journal of Craniofacial Surgery*, **28**, 1541-1542. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000003784>
- [23] Sharaf, B., Levine, J.P., Hirsch, D.L., *et al.* (2010) Importance of Computer-Aided Design and Manufacturing Technology in the Multidisciplinary Approach to Head and Neck Reconstruction. *Journal of Craniofacial Surgery*, **21**, 1277-1280. <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e3181e1b5d8>
- [24] Sun, H., Li, B., Zhao, Z., *et al.* (2013) Error Analysis of a CAD/CAM Method for Unidirectional Mandibular Distraction Osteogenesis in the Treatment of Hemifacial Microsomia. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **51**, 892-897. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2013.02.012>
- [25] Ye, N., Long, H., Zhu, S., *et al.* (2015) The Accuracy of Computer Image-Guided Template for Mandibular Angle Osteotomy. *Aesthetic Plastic Surgery*, **39**, 117-123. <https://doi.org/10.1007/s00266-014-0424-1>
- [26] Li, B., Zhang, L., Sun, H., *et al.* (2013) A Novel Method of Computer Aided Orthognathic Surgery Using Individual CAD/CAM Templates: A Combination of Osteotomy and Repositioning Guides. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, **51**, e239-e244. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2013.03.007>
- [27] Metzger, M.C., Hohlweg-Majert, B., Schwarz, U., *et al.* (2008) Manufacturing Splints for Orthognathic Surgery Using a Three-Dimensional Printer. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, **105**, e1-e7. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2007.07.040>
- [28] 彭雅滨, 毛小林, 王晓峰, 等. 数字化三维重建钛网在大面积颅骨缺损修补中的应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(26): 4760-4763.
- [29] Singare, S., Dichen, L., Bingheng L., *et al.* (2004) Design and Fabrication of Custom Mandible Titanium Tray Based on Rapid Prototyping. *Medical Engineering & Physics*, **26**, 671-676. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2004.06.001>
- [30] Saijo, H., Igawa, K., Kanno, Y., *et al.* (2009) Maxillofacial Reconstruction Using Custom-Made Artificial Bones Fabricated by Inkjet Printing Technology. *Journal of Artificial Organs*, **12**, 200-205. <https://doi.org/10.1007/s10047-009-0462-7>
- [31] 陈丽丹, 杨斌. 计算机辅助导航在颌面整形外科中的应用[J]. 中华医学美容美容杂志, 2017, 23(4): 280-283.
- [32] Marescaux, J., Leroy, J., Gagner, M., *et al.* (2001) Transatlantic Robot-Assisted Telesurgery. *Nature*, **413**, 379-380. <https://doi.org/10.1038/35096636>
- [33] Kantar, R.S., Alfonso, A.R., Ramly, E.P., Cohen, O., Rifkin, W.J., Maliha, S.G., *et al.* (2020) Knowledge and Skills Acquisition by Plastic Surgery Residents through Digital Simulation Training: A Prospective, Randomized, Blinded Trial. *Plastic and Reconstructive Surgery*, **145**, 184e-192e. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000006375>
- [34] Kim, Y.J., Kelley, B.P., Nasser, J.S. and Chung, K.C. (2019) Implementing Precision Medicine and Artificial Intelligence in Plastic Surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery—Global Open*, **7**, e2113. <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000002113>

-
- [35] Shademan, A., Decker, R.S., Opfermann, J.D., *et al.* (2016) Supervised Autonomous Robotic Soft Tissue Surgery. *Science Translational Medicine*, **8**, 337ra64. <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aad9398>
- [36] (2018) Digital Surgery Deploys First Surgical Artificial Intelligence System for the Operating Room. *Business Wire*, 16 July.
- [37] Hopewell, S., Loudon, K., Clarke, M.J., *et al.* (2009) Publication Bias in Clinical Trials Due to Statistical Significance or Direction of Trial Results. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, **1**, MR000006. <https://doi.org/10.1002/14651858.MR000006.pub3>
- [38] McDougall, R.J. (2019) Computer Knows Best? The Need for Value-Flexibility in Medical AI. *Journal of Medical Ethics*, **45**, 156-160. <https://doi.org/10.1136/medethics-2018-105118>
- [39] Sayburn, A. (2017) Will the Machines Take over Surgery? *The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England*, **99**, 88-90. <https://doi.org/10.1308/rcsbull.2017.87>
- [40] Trafton, A. (2018) Doctors Rely on More than Just Data for Medical Decision Making. *MIT News*.