مجله علوم پزشکی رازی دوره ۲۸، شماره ۸، آبان ۱۴۰۰ http://rjms.iums.ac.ir

مقاله مروری

مروری برتکنولوژی چاپ سه‌بعدی و کابربردهای آن در جراحی

رضا شمس آبادی: دکتری فیزیک هسته‌ای، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران (*نویسنده مسئول) Rshams220@gmail.com

سید حمید ذوالجلالی مقدم: کارشناس ارشد فیزیک پزشکی، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

حمیدرضا باغانی: استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

سید ربیع مهدوی: دانشیار و متخصص فیزیک پزشکی، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: رشد چشم‌گیر تکنولوژی چاپ سه‌بعدی در سال‌های اخیر موجب کاربرد این فناوری نوین در بسیاری از زمینه‌های پزشکی شده است به‌طوریکه مطالعات انجام شده در دهه‌های اخیر نشان‌دهنده اهمیت ویژه این تکنولوژی در بهبود عملکرد بسیاری از روش‌های درمانی می‌باشد. از آنجا که جراحی یکی از اصلی‌ترین روش‌های درمان در حوزه پزشکی محسوب می‌شود، ظهور تکنولوژی چاپسه بعدی در زمینه جراحی و ایجاد قسمت‌های مختلف بدن بیمار، موجب بهبود عملکرد جراح و افزایش سطح دقت و کیفیت جراحی خواهد شد. در واقع از آنجا که جراحی‌های پیچیده جهت اطمینان از موفقیت‌آمیز بودن روش درمانی به کاررفته نیازمند درک بصری دقیق‌تر قبل از عمل بوده، تکنولوژی چاپ سه‌بعدی می‌تواند به‌عنوان یک روش نوید بخش برای تولید مدل‌های دقیق‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر در نظر گرفته شود. علاوه براین، امکان تولید محصولات بسیار تخصصی برای طیف گسترده‌ای از بیماران توسط فرآیند چاپ سه‌بعدی، به عنوان انقلابی در علم و همچنین صنعت شناخته شود. بنابراین با توجه به اهمیت بیش از پیش فرآیند چاپ سه‌بعدی در جراحی‌های پزشکی، هدف از انجام مطالعه مروری حاضر، بررسی وضعیت فعلی فناوری چاپ سه‌بعدی و کاربردهای بالینی آن در ایجاد قسمت‌های سه‌بعدی مختلف بدن بیماران با استفاده از داده‌های تصویربرداری پزشکی جهت به‌کارگیری در فرآیندهای جراحی می‌باشد.

روش کار: برای بررسی کاربردهای تکنولوژی چاپ سه‌بعدی در جراحی، با جستجو در مقالات نمایه شده در پایگاه‌های داده فارسی و لاتین Scopus، PubMed، Science direct، Scholar، در نهایت تعداد ۳۴ مطالعه مرور گردیدند.

یافته‌ها: نتایج مطالعات انجام شده نشان‌دهنده اهمیت بالقوه تکنولوژی چاپ سه‌بعدی در جراحی می‌باشد به‌طوریکه می‌تواند منجر به بهبود نتایج درمانی به‌دست آمده شود. هم‌چنین از آنجا که وسایل تولیدشده توسط فن‌آوری چاپ سه‌بعدی، متناسب با آناتومی هر بیمار می‌باشد، بکارگیری این وسایل می‌تواند خطاهای مرتبط به‌وجود آمده در حین عمل را کاهش دهد. در این مقاله سعی شده است تا کاربردهایی هم‌چون جراحی فک و صورت، ستون فقرات، کبد و ... به طور خلاصه مورد بحث قرار گیرد. شایان ذکر است علاوه بر مزایای بسیار با ارزش این تکنولوژی، می‌توان به معایبی هم‌چون محدودیت در اندازه چاپ و هزینه‌بر بودن فرآیند چاپ اشاره کرد که مطالعات بسیاری سعی در رفع کاستی‌های موجود تکنولوژی چاپ سه‌بعدی در کاربردهای بالینی دارند.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت‌کننده: حامی مالی ندارد.

کلیدواژه‌ها

تکنولوژی چاپ سه‌بعدی،
جراحی،
نمونه‌سازی سریع،
آموزش جراحی،
طراحی درمان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۶

تاریخ چاپ: ۱۴۰۰/۰۸/۱۶

شیوه استناد به این مقاله:

Shamsabadi R, Zoljalali Moghaddam SH, Baghani HR, Mahdavi SR. A review of 3D printing technology and its applications in surgery. Razi J Med Sci. 2021;28(8):64-75.

*انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است.

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

Razi Journal of Medical Sciences. 2021;28(8):64-75. http://rjms.iums.ac.ir

Review Article

A review of 3D printing technology and its applications in surgery

Reza Shamsabadi: PhD, Physics Department, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran (*Corresponding author) Rshams220@gmail.com
Seyed Hamid Zoljalali Moghaddam: MA, Department of Medical Physics, School of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
Hamid Reza Baghani: Assistant Professor, Physics Department, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
Seyed Rabi Mahdavi: Associate Professor, Department of Medical Physics, School of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background & Aims: The considerable growth of 3D printing technology in recent years has led to the application of this emerging technology in many medical fields, in which recently performed studies have shown the special importance of this technology which can enhance the results of the treatment method. Since, surgery is one of the main modalities to treat patients, the advent of 3D printing technology in surgery and the creation of different patient organs with 3D printers, improve the surgeon's performance. Hence, the accuracy and quality of the surgery can be enhanced. The aim of this study was to review the current statues and the applications of the 3D printing technology in surgery.
Methods: By searching the indexed articles in Persian and Latin databases, Scopus, PubMed, Science direct, Scholar, 34 studies were reviewed.
Results: 3D printing applications in surgery: Generally, the ability to generate a physical object with complex structures from a digital model has been introduced as the 3D printing technology which offers many advantages over the traditional manufacturing. The most important advantage of 3D printing technology is the ability to produce objects based on individual needs in which can reduce the costs of their production. Furthermore, complex preoperative procedures can be practiced. In other words, 3D printed models allow physicians to become familiar with medical procedures which possible problems created during the operation, can be identified before the operation. This modern technology generally includes three main steps to generate 3D objects from imaging data. The first step is the acquisition of image data. Then, the interest region is extracted which is termed as the segmentation. Finally, the digital data is transferred to the 3D printers to produce the 3D object. For 3D model production, printer selection highly depends on speed, accuracy, cost, and availability of the printing materials. Recent advances in 3D printing technology have made it possible to use various biocompatible materials such as titanium and degradable polyesters to produce 3D models.
Complex surgeries require more precise visual understanding before the surgery to ensure about the success of the treatment. In this regard, 3D printing technology can be a promising way to produce faster and cheaper models. In addition, this modern technology enables producers to produce highly specialized products for a wide range of patient organs. Applying a physical model results in better performance and greater visual perception about the desired treatment area, which can significantly reduce the side effects during surgery. Since a large contribution of the surgical process can be performed outside the operating room hence, 3D printed models can reduce the operation time. In fact, before the operation, surgeons will have enough time to make decisions, evaluate solutions and focus on other key elements during the operation. So, based on the basic role of 3D printing technology in surgery, the purpose of the present review is to investigate the current state of 3D printing technology and its clinical application in surgery for the construction of various 3D organs via medical imaging data. In this paper, some applications such as maxillofacial, spinal,

Keywords
3D printing technology,
Surgery,
Rapid prototyping,
Surgical training,
Treatment planning

Received: 07/08/2021
Published: 07/11/2021

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

liver, etc., are briefly discussed.

Maxilla-facial and cranial facial reconstruction are the complex procedure which have been one of the first and most proven applications of 3D printing in the field of surgery to correct the facial deformities after the tumor resection. In this method with the application of 3D printers, at first, a 3D model of the desired anatomy is prepared to reduce a significant amount of time for linking the titanium plates to transplant adjacent bones (while the patient is anesthetized). Also, the production of titanium implants using the 3D printers will result in a very precise fit with the target tissue, the risks of maxillofacial surgery can be reduced.

The use of 3D printing applications before or during complex surgeries like congenital heart defects has been reported in several studies. Since, acquiring to the real anatomical structures in patients with complex congenital defects, are sometimes unpredictable, treatment planning and surgical decision-making require a thorough understanding of three-dimensional anatomy. Therefore, the 3D printing technique, as a widely used method in all medical fields can overcome the defects of common preoperative imaging, especially in cardiovascular surgery.

The other application of 3D printing technology includes spinal surgery in which due to the complex anatomy of the spine and the delicate nature of the surrounding structures, 3D printers will improve preoperative planning and increase the accuracy during the surgery.

Liver surgery can be another suitable candidate for performing 3D printing technology to create 3D printing models. The two main applications of 3D printing technology in this field include training or necessary planning for surgery and liver functional cell printing through bio-printing technology that can be used in the study of liver disease and pharmaceutical research.

Renal tumor resection is the other example of 3D printing applications in which 3D models have an exclusive role to enhance the accuracy of renal surgery. The 3D printed models can accurately display three-dimensional spatial relationships between different anatomical and pathological structures. Three-dimensional printed kidney models may also facilitate interdisciplinary communication and decision-making about the management of patients undergoing renal surgery. In the field of renal surgeries, employing of 3D printed models plays a specific performance to train young surgeons which consequently increases the practical skills of surgeons which can accurately visualize the anatomical and morphological relationship compared to volumetric imaging.

The obtained results of performed studies in the field of 3D printing show the potential significance of this technology in surgery which can lead to improvement of therapeutic outcomes. Since the printed models by 3D printing technology have an appropriate fit to the anatomy, the use of these models can reduce the associated errors during surgery.

It is worth noting that despite the valuable advantages of this technology, some disadvantages such as limited printing size and costly printing process can be discussed which many studies try to address the deficiency of 3D printing technology in clinical applications. The cost of 3D printed models varies according to the type of performed printing method and applicable software which requires specialized users. The main mentioned costs for 3D model creation include hardware, software, and printed materials. In the future, the production costs of 3D models would be likely reduced in which the use of 3D models would become more traditional in common clinical operation. The 3D printed physical models are based on medical imaging which are prone to errors during the imaging procedures. Hence, increasing the accuracy of creating printed models requires improving the clinical imaging methods. Generally, with the advances in this modern technology, faster, cheaper, and more accurate models can be produced.

Conflicts of interest: None
Funding: None

Cite this article as:

Shamsabadi R, Zoljalali Moghaddam SH, Baghani HR, Mahdavi SR. A review of 3D printing technology and its applications in surgery. Razi J Med Sci. 2021;28(8):64-75.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence.

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

مقدمه

نمونه‌سازی‌های سریع و ایجاد لایه‌های پی‌درپی مواد از طریق چاپگرهای سه‌بعدی اجازه تولید یک شی سه‌بعدی واقعی و قابل درک را فراهم می‌سازد (۱). چاپگرهای سه‌بعدی قادر به تولید یک مدل واقع بینانه از هندسه پیچیده می‌باشند به‌طوریکه کاربرد فعلی فناوری چاپ سه‌بعدی در زمینه‌های مختلف علوم و فعالیت‌های انسانی مانند مهندسی هوافضا، مهندسی مکانیک، آرایشی، دندانپزشکی و غیره را شامل می شود. اولین استفاده از فناوری چاپ سه‌بعدی منسوب به اوایل دهه ۱۹۸۰ توسط چارلز هال می‌باشد (۲). هال، که دارای مدرک لیسانس فیزیک مهندسی بود، اقدام به تأسیس شرکتی جهت ساخت چاپگرهای سه‌بعدی کرد و اولین چاپگر سه‌بعدی جهان را توسعه داد به‌طوریکه آن را استریولیتوگرافی نامید.

امروزه کاربردهای روزافزون چاپگرهای سه‌بعدی در بسیاری از حوزه‌های پزشکی گزارش شده‌است (۳،۴) به‌گونه‌ای که کاربردهای بالینی آن‌ها در بسیاری از حوزه‌های پزشکی به عنوان یک روش مکمل به اثبات رسیده است. چاپگرهای سه بعدی بسته به کاربرد آن‌ها می‌توانند از لحاظ اندازه و شکل متفاوت باشند. به‌طور کلی، با پیشرفت‌های به‌وجود آمده در این فن‌آوری نوین، به طور مداوم مدل‌های سریع‌تر، ارزان‌تر و با دقت بالاتر تولید می‌شود. از آنجا که این روش امکان تولید محصولات بسیار تخصصی را برای طیف گسترده‌ای از بیماران را فراهم می‌سازد، بنابراین می‌تواند به عنوان انقلابی در علم و فناوری و هم‌چنین در صنعت و تجارت مورد توجه قرار گیرد (۴،۵).

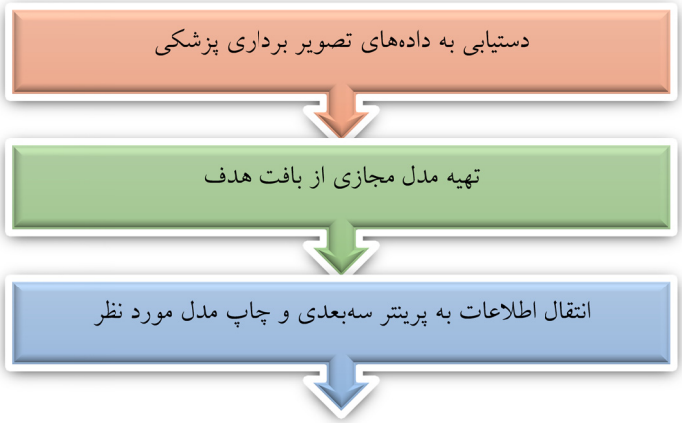
امروزه تکنولوژی نوین چاپ سه‌بعدی نقش ویژه‌ای در بسیاری از حوزه‌های پزشکی ایفا می‌کند. از آنجا که تصویربرداری پزشکی به دلیل کاربردهای گسترده آن تقریباً به‌عنوان مرکز تمام مراقبت‌های پزشکی فردی گزارش شده‌است، چاپگرهای سه‌بعدی، زمانی که با تصویربرداری پزشکی ترکیب شوند، می‌توانند به عنوان یک ابزار قدرتمند در درمان بیماران درنظرگرفته شوند. امروزه تصویربرداری سه‌بعدی به عنوان یک ابزار مهم بالینی برای تجسم ساختارهای آناتومیک در طراحی-های درمان و جراحی محسوب می‌شود. اما با این حال ضعف عمده موجود در تصویربرداری‌های سه‌بعدی، تجسم تصاویر از طریق صفحه دو بعدی کامپیوتر بوده که در آن حس واقعی عمق محدود شده است.

در حال حاضر، ابزار چاپ سه‌بعدی به طور معمول بیشتر در جراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا تمایل بیشتری نسبت به استفاده از این فناوری جهت حصول اطلاعات دقیق و قابل اطمینان از محل جراحی وجود دارد. به عبارت دیگر، در جراحی‌های پیچیده برای اطمینان از موفقیت‌آمیز بودن جراحی، نیاز به ارزیابی و تمرین قبل از عمل است که این دستاورد توسط فناوری چاپ سه‌بعدی قابل دستیابی می‌باشد(۶). از طریق چاپ سه‌بعدی و تبدیل این تصاویر به یک جسم واقعی، می‌توان به طور چشم‌گیری عوارض ناشی از جراحی را کاهش داد. به عبارت دیگر استفاده از مدل‌های چاپ‌شده سه‌بعدی بسیار دقیق‌تر از تصاویر پزشکی دو بعدی بدست آمده است (۷). علاوه بر این، در دسترس بودن مدل‌های فیزیکی، موجب عملکرد بهتر و درک بصری بیشتر از هدف مورد نظر می‌شود.

مهم‌ترین مزیت استفاده از تکنولوژی چاپ سه‌بعدی توانایی تولید اشیاء بر اساس نیازهای فردی، با هزینه اندک است(۴). تکنولوژی چاپ سه‌بعدی نسبت به سایر روش‌های سنتی از مزایایی هم‌چون ایجاد اشیا با ساختارهای داخلی پیچیده، قابلیت تطبیق‌پذیری و سفارشی‌سازی بهتر و فضای کمتر نیز برخوردار است(۸). علاوه براین پزشکان قادر به تمرین روش‌های پیچیده قبل از عمل هستند. به‌عبارت دیگر مدل‌های چاپ شده سه‌بعدی برای پزشکان این امکان را فراهم می‌آورد تا با روش‌های پیچیده آشنا شوند و قبل از عمل مشکلات احتمالی ایجاد شده در حین عمل را تشخیص دهند (۹). عمدتا مدل‌های چاپ‌شده سه‌بعدی از طریق داده‌های به‌دست آمده از تصویربرداری پزشکی بیماران از طریق توموگرافی کامپیوتری (Computed tomography)، تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (Resonance imaging magnetic) و یا سونوگرافی (Ultrasound) نقش‌های مهمی در برنامه‌ریزی‌های قبل از جراحی برعهده دارند. به عبارت دیگر، چاپ سه‌بعدی، به‌عنوان یک جایگزین بالقوه یا مکمل روش‌های استاندارد تصویربرداری پزشکی، می‌تواند درک قابل قبولی از آناتومی بیمار ایجاد کند.

فرآیند ایجاد یک جسم فیزیکی از یک مدل دیجیتال

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]



شکل ۱- سه مرحله مهم در ایجاد یک مدل سه‌بعدی با ستفاده از تکنولوژی چاپ سه‌بعدی

و کاربردهای کلینیکی آن به تفصیل در پژوهش چاپ‌شده قبلی توضیح داده شده است(۱۰). با این حال علی‌رغم روش‌های مختلف موجود برای این منظور، تهیه مدل‌های چاپ‌شده سه‌بعدی شامل سه بخش اصلی می‌باشد. ابتدا یک مدل مجازی از هدف مورد نظر تهیه می‌شود. در این مرحله انتخاب داده‌های تصویربرداری پزشکی از اهمیت زیادی برخوردار است، به‌طوریکه تصاویر با وضوح پایین منجر به اختلاف بین مدل تولید شده و آناتومی واقعی خواهد شد. سپس به منظور حصول اطمینان از مدل چاپ شده، ابتدا مدل مجازی به‌دست آمده از تصاویر با کیفیت بالا در سیستم توسط شبکه‌بندی بهبود داده می‌شود و در نهایت برای تولید مدل اصلی، چاپگر سه‌بعدی مورد نظر به‌همراه مواد مناسب جهت چاپ، انتخاب شده تا مدل سه‌بعدی ایجاد گردد. سه مرحله اصلی در شکل‌گیری یک شی سه‌بعدی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

انتخاب چاپگر مناسب به‌شدت وابسته به سرعت، دقت، هزینه و در دسترس بودن مواد مناسب جهت چاپ می‌باشد. در ابتدا، تنوع محصولات حاصل از روش چاپ سه‌بعدی محدود بود، که بیشتر از مواد اولیه سفت و سخت استفاده می‌شد. پیشرفت‌های اخیر در تکنولوژی چاپ سه‌بعدی این امکان را فراهم آورده است تا بتوان از مواد اولیه مختلفی هم‌چون مواد زیست سازگار مانند تیتانیوم و پلی‌استرهای تخریب‌پذیر جهت تولید مدل‌های سه‌بعدی استفاده کرد(۴).

نظر به پیشرفت تکنولوژی‌های اخیر در زمینه تصویربرداری، تکنیک‌های چاپ و مواد موجود، می‌توان مدل‌ها و ابزارهای سه‌بعدی آناتومیکی جهت استفاده جراحان برای تامین نیازها و غلبه بر مشکلات روش‌های بالینی کنونی، ایجاد کرد. به همین دلیل درحال حاضر، چاپ سه‌بعدی به یک عنوان یک فناوری مهم در جراحی تبدیل شده است (۱۱). مدل‌های سه‌بعدی چاپ‌شده موجب صرفه‌جویی در وقت می‌شود زیرا بخش اعظمی از فرآیند جراحی در خارج از اتاق عمل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع قبل از عمل جراح زمان کافی برای تصمیم‌گیری، ارزیابی راه‌حل‌ها و تمرکز برای سایر عناصر کلیدی در حین عمل را خواهد داشت(۱۲،۱۳).

در مطالعه‌ای که توسط Kong و همکاران صورت گرفته، ثابت شده‌است که مدل‌های چاپ شده سه‌بعدی می‌توانند به‌عنوان یک روش مکمل آموزش عملی برای آموزش مفاهیم پیچیده آناتومیک به دانشجویان پزشکی و یا برای آموزش کارآموزان جراحی آناتومی و یا شبیه سازی جراحی درنظر گرفته شود. Sugimoto و همکاران(۱۴)، نشان دادند که سودمندی مدل‌های چاپ شده سه‌بعدی با پیچیدگی آسیب شناسی افزایش می‌یابد. Izatt و همکاران (۱۵)، دریافتند که استفاده از این مدل‌های سه‌بعدی در ۷۸٪ موارد موجب بهبود نتایج جراحی می‌شود، اگرچه این مورد با مطالعه Li و همکاران (۱۶)، در تضاد است با این‌حال هیچ تغییری در میزان عوارض یا نتایج بالینی توسط آن‌ها گزارش نشده است(۱۷).

نظر به پیشرفت‌های چشم‌گیر صورت پذیرفته در حوزه کاربرد تکنولوژی چاپ سه‌بعدی در جراحی، در

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

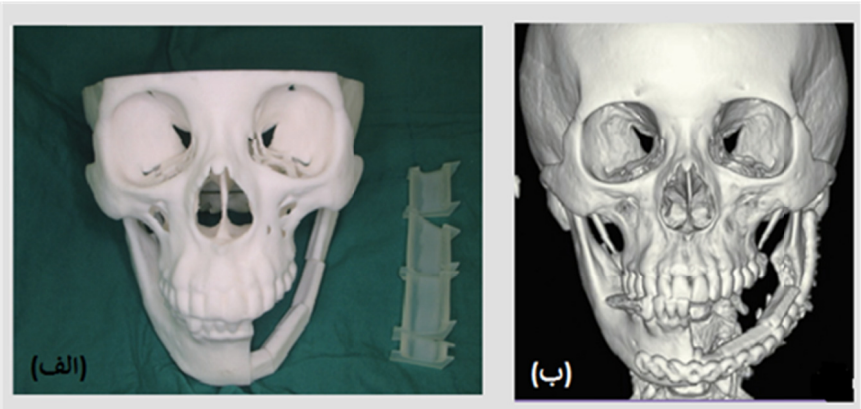
این مطالعه مروری سعی برآن است تا تعدادی از کاربردهای اصلی مدل‌های چاپی سه‌بعدی تولید شده توسط داده‌های تصویربرداری پزشکی در جراحی مورد بحث قرارگیرد. در این مقاله سعی برآن است تا کاربردهایی همچون جراحی فک و صورت، ستون فقرات، کبد و ... به طور خلاصه مورد بحث قرار گیرد. همچنین شایان ذکر است علاوه بر مزایای بسیار با ارزش این تکنولوژی، می‌توان به معایبی همچون محدودیت در اندازه چاپ و هزینه‌بر بودن فرآیند چاپ اشاره کرد که به صورت اجمالی به آنها پرداخته خواهد شد.

برای بررسی کاربردهای پرینترهای سه‌بعدی در جراحی، با استفاده از کلمات کلیدی 3D printing technology, surgery, surgical training, treatment planning و جستجو در مقالات نمایه شده در پایگاه‌های داده فارسی و لاتین Scopus، PubMed، Science direct، Scholar تعداد ۸۰ مقاله انتخاب شدند. در نهایت با حذف موارد مشابه و غیر مرتبط به کاربردهای پرینترهای سه‌بعدی در جراحی و با استناد به گزارشات به روز، در نهایت ۳۴ مطالعه مرور گردیدند. از آنجا که ظهور این تکنولوژی به عنوان یک روش نوین در جراحی محسوب می‌شود، و لذا تعداد مطالعات انجام شده در این حوزه اندک می‌باشد، در این بررسی مروری سعی شده‌است تا یک بررسی اجمالی در مطالعات انجام گرفته در حوزه‌های مختلف کاربرد چاپ سه‌بعدی در جراحی صورت پذیرد.

۱- استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی در جراحی فک و صورت

بازسازی صورت و فک یکی از اولین و اثبات شده‌ترین کاربردهای چاپ سه‌بعدی در طراحی‌های درمان به شمار می‌رود (۱۸،۱۹). بازسازی صورت به عنوان یک روش پیچیده، اغلب برای اصلاح ناهنجاری‌های ایجاد شده پس از برداشته شدن تومور در صورت شکل می‌گیرد. در این روش با استفاده از چاپگرهای سه‌بعدی ابتدا یک مدل سه‌بعدی از آناتومی مورد نظر تهیه می‌شود تا زمان لازم برای اتصال صفحات تیتانیومی برای پیوند استخوان‌های مجاور (در حین عمل جراحی و در حالی که بیمار در حال بی‌هوشی قرار دارد) کاهش یابد. شکل ۲ بازسازی فک پایین با استفاده از مدل چاپ سه‌بعدی نشان داده شده است.

علاوه بر این، ایجاد ایمپلنت‌های سه‌بعدی مبتنی بر تیتانیوم می‌تواند به عنوان کاربردهایی دیگر از تکنولوژی چاپ سه‌بعدی معرفی شود (۲۱-۲۳)، به‌طوریکه در حال حاضر این روش کاملاً موفق و بدون هیچ گونه عارضه به نظر می‌رسد. ایمپلنت‌ها به خوبی روی نقایص موجود در فک بالا قرار می‌گیرند اما، از آنجا که برداشت و بازسازی باید در همان زمان انجام شود، نقایص احتمالی را نمی‌توان از قبل به راحتی برآورد کرد زیرا میزان برداشت ممکن است بسته به یافته‌های حین عمل متفاوت باشد. جهت استفاده موفقیت‌آمیز از ایمپلنت‌های ایجادشده، شبیه‌سازی قبل از عمل باید به طور دقیق انجام گیرد و مشکلات احتمالی مانند تعامل استخوان یا ماهیچه با تیتانیوم در



شکل ۲- بازسازی فک پایین با استفاده از فناوری چاپ سه‌بعدی (الف) تهیه مدل سه‌بعدی بااستفاده از فرآیند شبیه‌سازی رایانه‌ای (ب) بازسازی فک و ایجاد انحنای ایده آل برای کاشت دندان(۲۰).

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

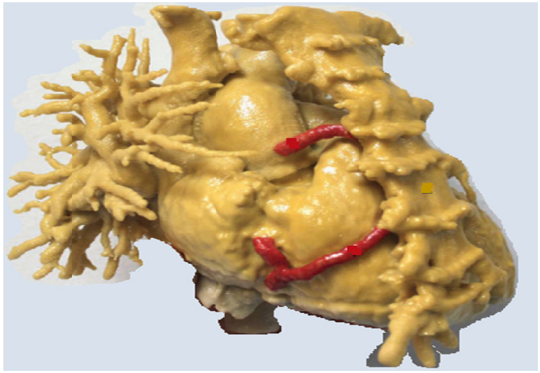
نظر گرفته شود.

تولید ایمپلنت‌های تیتانیومی با استفاده از این روش، موجب ایجاد یک تناسب بسیار دقیق خواهد شد و خطرات به وجود آمده در حین جراحی را کاهش می‌دهد. در این خصوص یک تیم پزشکی در بلژیک در سال ۲۰۱۱ با ساخت ایمپلنت‌های سه‌بعدی توسط پرینترهای سه‌بعدی و قرار دادن آن در صورت بیمار، وی را قادر به بلع و صحبت کردن، یک روز بعد از عمل جراحی کردند (۲۴). اگرچه تاکنون چاپ سه‌بعدی بیشتر در زمینه جراحی فک و صورت و ارتوپدی مورد استفاده قرار گرفته است، اما در موارد خاص دیگری هم‌چون زمینه‌هایی مانند جراحی های مغز و اعصاب، پیوند قلب کودکان و بیهوشی، تحولات امیدوارکننده‌ای مشاهده می‌شود (۲۵).

۲- استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی درجراحی قلب و عروق

در بسیاری از مطالعات به کاربردهای چاپ سه‌بعدی در قبل و یا حین عمل‌های جراحی پیچیده بیماران مبتلا به نقص مادرزادی قلبی که نیاز به ترمیم توسط عمل جراحی دارند، پرداخته شده‌است (۲۶-۲۸). علی‌رغم کیفیت و وضوح بالای اطلاعات به‌دست‌آمده از اسکنرهای مقطعی، اغلب دستیابی به دانش کاملی از آناتومی واقعی مشکل به نظر می‌رسد. در واقع گاهی اوقات، در بیماران دارای نواقص پیچیده مادرزادی، ساختارهای آناتومیک واقعی گاهی غیر قابل پیش‌بینی هستند. از این‌رو، طراحی درمان و تصمیم‌گیری در مورد عمل جراحی، مستلزم درک کافی از آناتومی سه‌بعدی بیماران می‌باشد. به عبارت دیگر در بعضی موارد، تصویر برداری معمول برای طراحی‌های بهینه قبل از جراحی‌های قلبی عروقی کافی نیست. از این رو روش چاپ سه‌بعدی به عنوان یک تکنیک پرکاربرد در تمام حوزه‌های پزشکی می‌تواند بر کاستی‌های ناشی از تصویر برداری معمول قبل از عمل، به‌ویژه در جراحی‌های قلبی-عروقی غلبه کند. در شکل ۳ نمایی از یک مدل سه‌بعدی چاپ‌شده توسط چاپگر سه‌بعدی نشان داده شده‌است.

در مطالعه‌ای که توسط Schmauss و همکاران صورت گرفت تعداد ۸ بیمار در سال‌های بین ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳



شکل ۳- مدل چاپ سه‌بعدی از ساختار قلب (۲۹)

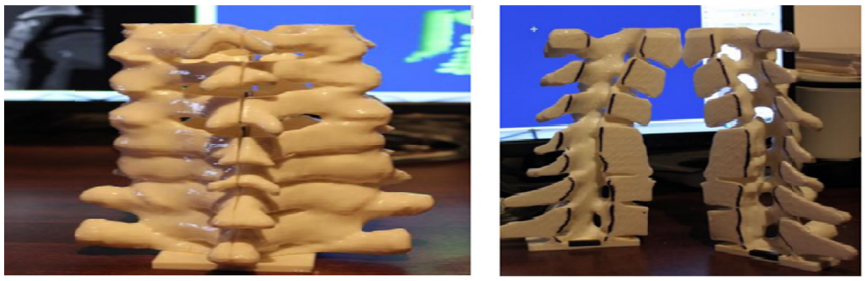
مورد مطالعه قرار گرفتند و مدل‌های چاپ شده سه‌بعدی با استفاده از توموگرافی کامپیوتری یا داده‌های تصویر برداری با رزونانس مغناطیسی در جراحی قلب و عروق کودکان و بزرگسالان به دست آمد. مدل‌های سه‌بعدی به‌دست آمده جهت طراحی‌های درمان قبل از عمل و جهت‌گیری‌های مناسب بعد از عمل نیز به دلیل قابلیت نمایش دقیق آناتومی‌های قلبی‌عروقی بسیار مفید بودند. نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد که استفاده از چاپ سه بعدی ممکن است باعث کاهش عوارض مرگ‌ومیر در کاربرد روش‌های پیچیده و غیر متعارف در جراحی قلبی و عروقی شود (۲۹).

۳- استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی در جراحی ستون فقرات

از کاربردهای دیگر چاپ سه‌بعدی می‌توان به جراحی ستون فقرات اشاره کرد. امروزه استفاده از چاپ سه-بعدی در جراحی ستون فقرات به طور عمده در سه گروه الف) استفاده برای آموزش یا طراحی‌های قبل از عمل جراحی ب) ایجاد ابزارهای جراحی مخصوص بیمار و ج) ایجاد ایمپلنت‌های سفارشی در عمل‌های جراحی دشوار در بیماران همراه با آناتومی و ناهنجاری‌های پیچیده، طبقه‌بندی می‌شوند (۱۷،۳۰). نمونه‌ای از مدل چاپی سه بعدی ستون فقرات با استفاده از تصاویر CT در شکل ۴ نشان داده شده است.

استفاده از چاپگرهای سه‌بعدی در عمل جراحی ستون فقرات برای اولین بار در سال ۱۹۹۹ توسط D'Urso و همکاران(۳۲)، مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به آناتومی پیچیده ستون فقرات و ماهیت ظریف

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]



شکل ٤- نمونه‌ای از مدل چاپی سه بعدی ستون فقرات گردن (۳۱)

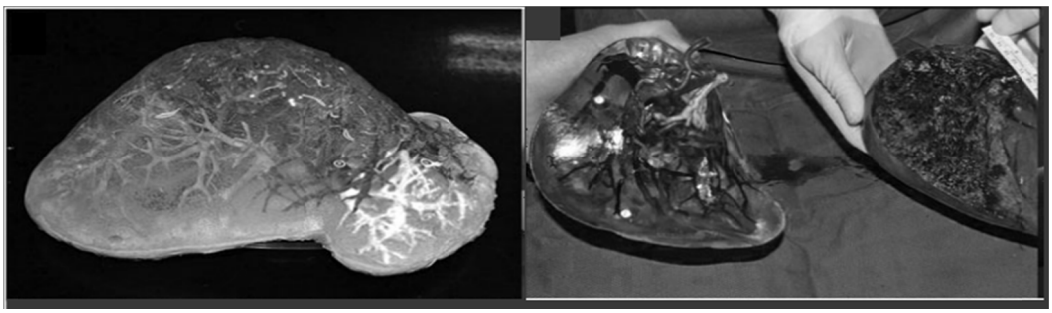
ساختارهای اطراف، چاپگرهای سه‌بعدی موجب بهبود برنامه‌ریزی‌های جراحی و افزایش دقت در حین عمل گردید (۳۰).

۳- استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی در جراحی‌های کبدی

فناوری چاپ سه‌بعدی با چشم‌انداز قابل توجهی در جراحی‌های کبدی به سرعت در حال توسعه می‌باشد (۶). جراحی کبد می تواند به‌عنوان روشی مناسب برای ایجاد مدل‌های چاپی سه‌بعدی، نقش محوری داشته باشد. با این حال دو کاربرد اصلی فناوری چاپ سه‌بعدی در زمینه جراحی کبدی شامل آموزش یا طراحی‌های لازم جهت انجام عمل جراحی و چاپ سلول‌های کبدی عملکردی از طریق فناوری چاپ زیستی است که می‌تواند در مطالعه بیماری کبد و تحقیقات دارویی مورد استفاده قرار گیرد(۶). در شکل ۵ مدل‌های کبدی ایجاد شده با روش‌های مختلف ایجاد آنها نشان داده شده است.

جراحی‌های پیچیده‌ای مانند پیوند کبد اهدا کننده زنده، نیاز به دانش دقیق در مورد آناتومی منحصر به فرد هر بیمار دارد. ازآنجا که هزینه های چاپ مدل‌های سه‌بعدی به شدت وابسته به پیچیدگی فرآیند و صحت مدل مورد نظر (به لحاظ آموزش پزشکی یا آموزش قبل از عمل) دارد، چاپ مدل‌های سه‌بعدی برای جراحی‌های کبدی، از جمله جراحی‌های با هزینه بالا به‌شمار می‌رود. ولی آنچه توسط بررسی‌ها نشان شده است حاکی از آن است که کاهش ابعاد مدل‌های سه‌بعدی و چاپ آنها در اندازه‌های کوچک‌تر ممکن است موجب کاهش هزینه‌ها شود که در برخی موارد معقول به نظر می‌رسد. با این حال از محدودیت‌های کاهش ابعاد مدل‌های سه‌بعدی می‌توان به عدم انعکاس دقیق آناتومی یک بیمار اشاره کرد. در ایجاد مدل‌های چاپی سه‌بعدی کبدی استفاده از فن‌آوری‌های چاپ PolyJet و SLS (Selective laser sintering)، موجب ایجاد چاپ نسبتاً آسان و سریع می‌شود، اما میزان دسترسی و هزینه‌های بالای چاپ نسبت به فن‌آوری FDM (Fused deposition modeling) از محدودیت‌های اصلی در استفاده از آن‌ها به شمار می‌روند. هرچند استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی برای آموزش بیماران و دانشجویان هنوز در زمینه جراحی کبد مورد توجه زیادی قرار نگرفته است، اما می‌تواند در رابطه با روابط درمانی هنگام مشاوره به بیماران سودمند باشد.

در مطالعه‌ای که توسط Zein و همکاران صورت



شکل ٥- مدل‌های سه بعدی کبدی ایجاد شده توسط تکنولوژی چاپ سه‌بعدی (۲۵)

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

گرفته است تعداد سه بیمار گیرنده و سه بیمار اهداکننده کبد مورد مطالعه قرار گرفتند. در این بررسی، با استفاده از فناوری چاپ سه‌بعدی و براساس سی‌تی اسکن فردی و تصویربرداری MRI، یک نمونه اولیه از کبد انسان تولید شد. مدل ارایه شده توسط آنان از دقت بسیار بالایی برخوردار بود به‌طوریکه از طریق مقایسه مستقیم با پروتکل‌های اعتبارسنجی، میانگین خطای ابعادی بدست آمده کمتر از ۴ میلی‌متر برای کل مدل و کمتر از ۱/۳ میلی‌متر برای قطر عروق چاپ شده بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌داد که چاپ قسمت‌های مختلف توسط فناوری چاپ سه‌بعدی یک ابزار ارزشمند برای درک رابطه مکانی ساختارهای آناتومیکی عروقی و صفراوی می باشد که در نهایت موجب تسهیل در عمل جراحی و به حداقل رساندن عوارض به‌وجود آمده در حین عمل خواهد شد(۳۳). از آنجا که گاهی اوقات ممکن است چاپ مدل‌های سه‌بعدی امری زمان‌بر باشد لذا، به دلیل زمان لازم برای تولید این مدل‌های سه‌بعدی، در موارد اضطراری مانند پارگی کبدی، استفاده از این مدل‌های سه‌بعدی مرسوم نمی‌باشد(۶).

۴- استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی در جراحی‌های کلیوی

مطالعات انجام گرفته درحوزه جراحی‌های کلیوی بیانگر آن می‌باشند که مدل‌های سه‌بعدی کلیوی چاپ‌شده مخصوص بیمار قادر به نمایش دقیق روابط مکانی سه‌بعدی بین ساختارهای مختلف آناتومیکی و پاتولوژیک بوده و می‌تواند به عنوان یک منبع مفید برای برنامه‌ریزی قبل از جراحی و شبیه‌سازی عمل جراحی برای بیماری کلیوی، حتی در موارد نادر و پیچیده، ارائه شود. علاوه بر این استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی سفارشی برای آموزش جراحان جوان و همچنین افزایش مهارت‌های عملی برای جراحان، به دلیل تجسم بهتر و دقیق‌تر از شبکه‌های آناتومیکی و مورفولوژی در مقایسه با تصویربرداری حجمی بسیار ارزشمند است. به‌علاوه مدل‌های کلیوی چاپ‌شده سه‌بعدی ممکن است ارتباط بین رشته‌ای و تصمیم‌گیری را در مورد مدیریت بیماران تحت عمل جراحی تسهیل کند(۳۴).

توسعه یک مدل سه‌بعدی تولید شده توسط فرآیند چاپ سه‌بعدی با قابلیت استفاده مجدد برای شبیه سازی تلاقی عروقی در پیوند کلیه در مطالعه‌ای توسط Claflinو همکاران مورد بررسی قرار گرفت. برای ایجاد مدلی برای شبیه‌سازی تلاقی عروقی در پیوند کلیه، از اسکن توموگرافی کامپیوتری شکم و لگن با وضوح بالا و نرم افزار طراحی به کمک کامپیوتر استفاده شد. کاهش هزینه های چاپ مدل سه‌بعدی ارایه شده تا حدود ۱۷۸ دلار و همچنین قابلیت استفاده مجدد و تعاملی با مدل چاپ‌شده از مزایای اصلی ذکر شده در استفاده از این مدل سه‌بعدی گزارش شده است به طوریکه استفاده از مدل روشی موثر برای رشد مهارت‌های فنی لازم برای تلاقی‌های عروقی در پیوند کلیه بوده است(۳۵).

۵- استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی در جراحی‌های مغز و اعصاب

در بررسی‌های انجام گرفته توسط Pucci همکاران مشخص‌شد که چاپ‌بعدی در جراحی مغز و اعصاب می‌تواند به برنامه‌ریزی قبل از عمل، آموزش جراحان جدید و تحقیقات کمک کند. چاپ سه‌بعدی پتانسیل امیدوارکننده‌ای برای ایجاد دستگاه‌هایی مانند ابزار و ایمپلنت دارد که می‌تواند روش انجام عمل‌جراحی را تغییر دهد. استفاده از مدل‌های سه‌بعدی در حین جراحی مغز و اعصاب باعث افزایش آگاهی جراحان از وزن، بافت، ریخت‌شناسی، دما و موقعیت مکانی هدف درمان می‌شود. در واقع مدل‌های سه‌بعدی تولید شده جراحان را قادر می‌سازد تا بصورت بصری آناتومی پیچیده عروق مغزی را از هر منظری درک و تجزیه و تحلیل کنند(۳۶). چگونگی تولید یک مدل سه‌بعدی از رگ‌های خونی در حین جراحی مغز و اعصاب در شکل ۶ نشان داده شده‌است.

نتیجه‌گیری

در مطالعه مروری حاضر امکان استفاده از تکنولوژی چاپ سه‌بعدی در زمینه جراحی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعات انجام شده نشان‌دهنده اهمیت بالقوه تکنولوژی چاپ سه‌بعدی در جراحی می‌باشد به‌طوریکه می‌تواند منجر به بهبود نتایج درمانی به دست آمده شود. از آن‌جاکه وسایل تولیدشده توسط فن

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

شکل ٦- فرآیند ساده‌سازی و شکل گیری یک مدل سه‌بعدی از رگ‌های خونی در جراحی مغزو اعصاب توسط تکنولوژی چاپ سه‌بعدی با استفاده از تصویر برداری پزشکی (۳۶).

آوری چاپ سه‌بعدی، متناسب با آناتومی هر بیمار می باشد، بکارگیری این وسایل می‌تواند خطاهای مرتبط به‌وجود آمده در حین عمل را کاهش دهد. در واقع مهم ترین دلیل استفاده از پرینتر سه‌بعدی در موارد مختلف و به خصوص در علم پزشکی و جراحی، دقت بسیار بالای این پرینترها است. هم‌چنین با توجه به اینکه قبل از عمل، جراح زمان کافی برای تصمیم‌گیری، ارزیابی راه‌حل‌ها و تمرکز برای سایر عناصر کلیدی در حین عمل را خواهد داشت، لذا می تواند موجب کاهش زمان عمل جراحی و افزایش دقت و کیفیت درمان گردد.

با وجود مزیت‌های ذکر شده در بالا در مورد چاپ سه‌بعدی، لازم به ذکر است که زمان و هزینه‌های تولید مدل‌های سه‌بعدی از محدودیت‌های اصلی در تولید مدل‌های سه‌بعدی به شمار می‌روند به‌طوریکه زمان لازم برای چاپ مدل‌ها می‌تواند از نصف روز تا چند هفته به طول انجامد. بنابراین استفاده از مدل‌های چاپی سه‌بعدی برای برخی موارد اضطراری مناسب نیست (۶). هزینه های تولید با توجه به نوع روش به کاررفته جهت چاپ متفاوت بوده و نیازمند افراد متخصص و نرم-افزارهای کاربردی می‌باشد. هزینه اصلی جهت چاپ مدل‌های سه‌بعدی شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار و مواد چاپی می‌باشد که بیشترین بخش هزینه‌ها در بخش نرم افزار و سخت افزار است. با پیشرفت فن‌آوری در آینده به احتمال بسیار زیاد هزینه‌های تولید کاهش خواهد یافت و استفاده از مدل‌های سه‌بعدی به طور پیوسته در عمل‌های معمول بالینی استفاده خواهد شد. مدل‌های فیزیکی چاپ‌شده سه‌بعدی مبتنی بر تصویربرداری‌های پزشکی هستند و بر همین اساس مستعد خطاهای تصویربرداری خواهند بود (۳۳). بنابراین، جهت تولید مدل‌های چاپی بسیار دقیق، افزایش دقت در فناوری پردازش تصاویر دو بعدی نیز امری ضروری به نظر می-رسد.

با توجه به پیشرفت‌های ایجاد شده در تکنولوژی چاپ سه‌بعدی چنین انتظار می‌رود در آینده نه‌چندان دور از پرینترهای سه بعدی برای تولید قسمت های مختلف بدن با هزینه‌های کمتر و در یک فرآیند تولید کوتاهتر استفاده شود. هم‌چنین، فرآیندهای جراحی‌های تمرینی با استفاده از اشیاء چاپ‌شده توسط داده های تصویربرداری سه‌بعدی (واقعیت مجازی یا مدل‌های فیزیکی چاپ‌شده) می‌توانند به‌جای استثناء تبدیل به یک رویه‌ی معمول شوند که افزایش دقت و کیفیت درمان را در پی خواهدداشت.

References

1. Bauermeister AJ, Zuriarrain A, Newman MI. Three-Dimensional Printing in Plastic and Reconstructive Surgery: A Systematic Review. Ann Plast Surg. 2016;77(5):569-576.
2. Hull C, Feygin M, Baron Y, Sanders R, Sachs E, Lightman A, et al. Rapid prototyping: current technology and future potential. Rapid Prototyp. J 1995;1(1):11e19.
3. Liu J, Sun L, Xu W, Wang Q, Yu S, Sun J , et al. Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. Carbohydr Polym. 2019;207:297-316.
4. Anastasiadis K, Tagarakis G. 3D printing in

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

cardiac surgery. In: Tsoulfas G, Bangeas PI, Suri JS, eds. 3D Printing: Application in Medical Surgery. Elsevier Inc, 2020, 117-123.

5. Ong Cs, Hibino N. The use of 3D printing in cardiac surgery. J Thorac Dis 2017; 9(8): 2301–2302.

6. Yao R, Xu G, Mao SS, Yang HY, Sang XT, Sun W, et al. Three-dimensional printing: review of application in medicine and hepatic surgery. Cancer Biol Med. 2016;13(4):443-451.

7. Daniel M, Watson J, Hoskison E, Sama A. Frontal sinus models and onlay templates in osteoplastic flap surgery. J Laryngol Otol. 2011;125(1):82-85.

8. Barry B. 3-D printing: The new industrial revolution. Bus Horiz. 2012;55(2):155-162.

9. Chung KJ, Hong DY, Kim YT, Yang I, Park YW, Kim HN. Pre shaping plates for minimally invasive fixation of calcaneal fractures using a real-size 3D-printed model as a preoperative and intraoperative tool. Foot Ankle Int. 2014;35(11):1231-1236.

10. Zoljalali Moghaddam SH, Ghaffari H, Shamsabadi R, Mahdavi SR, Baghani HR. A review on applications of three-dimensional printing technology in radiotherapy. Razi J Med Sci. 2020;27(5):240-253

11. Martelli N, Serrano C, van den ,Brink H, Pineau J, Prognon P, et al. Advantages and disadvantages of 3-dimensional printing in surgery: A systematic review. Surgery. 2016;159(6):1485-1500.

12. Diment LE, Thompson MS, Bergmann JHM. Clinical efficacy and effectiveness of 3D printing: a systematic review. BMJ Open. 2017;7(12):e016891.

13. Boll LFC, Rodrigues GO, Rodrigues CG, Bertollo FL, Irigoyen MC, Goldmeier S. Using a 3D printer in cardiac valve surgery: a systematic review. Revista da Associação Médica Brasileira. 2019; 65: 818-824..

14. Sugimoto Y, Tanaka M, Nakahara R, Misawa H, Kunisada T, Ozaki T. Surgical treatment for congenital kyphosis correction using both spinal navigation and a 3-dimensional model. Acta Med Okayama. 2012;66(6):499-502.

15. Izatt MT, Thorpe PL, Thompson RG, D'Urso PS, Adam CJ, Earwaker JW, et al. The use of physical bio-modelling in complex spinal surgery. Eur Spine J. 2007;16(9):1507-1518.

16. Li C, Yang M, Xie Y, Chen Z, Wang C, Bai Y. et al. Application of the polystyrene model made by 3-D printing rapid prototyping technology for operation planning in revision lumbar discectomy. J Orthop Sci. 2015;20(3):475-480.

17. Wilcox B, Mobbs RJ, Wu AM, Phan K. Systematic review of 3D printing in spinal surgery: the current state of play. J Spine Surg. 2017;3(3): 433-443.

18. Singare S, Dichen L, Bingheng L, Yanpu L, Zhenyu G, Yaxiong L. Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping. Med Eng Phys. 2004;26(8):671-676.

19. Murphy SV, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. Nat Biotechnol. 2014;32(8):773-785.

20. Choi JW, Kim N. Clinical application of three-dimensional printing technology in craniofacial plastic surgery. Arch Plastic Surg.. 2015;42(3):267.

21. Chen ST, Chang CJ, Su WC, Chang LW, Chu IH, Lin MS. 3D titanium mesh reconstruction of defective skull after frontal craniectomy in traumatic brain injury. Injury. 2015;46(1):80-85.

22. Biron VL, Gross M, Broad R, Seikaly H, Wright ED. Radial forearm free flap with titanium mesh sandwich reconstruction in complex anterior skull base defects. J Craniofac Surg. 2012;23(6):1763-1765.

23. Beliakin SA, Khyshov VB, Khyshov MB, Klimova NA, Saifullina SN, Eyzenbraun OV. Reconstruction of posttraumatic skull and facial bones injuries with the use of perforated titanium plates and meshes. Voen Med Zh. 2012;333(12):12-17.

24. Parthasarathy J. 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery. Ann Maxillofac Surg. 2014;4(1):9-18.

25. Witowski JS, Coles-Black J, Zuzak TZ, Pędziwiatr M, Chuen J, Major P. 3D Printing in Liver Surgery: a systematic review. Telemed J E Health. 2017;23(12):943-947.

26. Tam MD, Laycock SD, Brown JR, Jakeways M. 3D printing of an aortic aneurysm to facilitate decision making and device selection for endovascular aneurysm repair in complex neck anatomy. J Endovasc Ther. 201320(6):863-867.

27. Noecker AM, Chen JF, Zhou Q, White RD, Kopcak MW, Arruda MJ,et al. Development of patient-specific three-dimensional pediatric cardiac models. ASAIO J. 2006;52(3):349-353.

28. Sodian R, Weber S, Markert M, Loeff M, Lueth T, Weis F, et al. Pediatric cardiac transplantation: three-dimensional printing of anatomic models for surgical planning of heart transplantation in patients with univentricular heart. J Thorac Cardiovasc Surg. 2008;136(4):1098-1099.

29. Schmauss D, Haeberle S, Hagl C, Sodian R. Three-dimensional printing in cardiac surgery and interventional cardiology: a single-centre experience. Eur J Cardio-Thoracic Surg. 2014:1–9.

30. Garg B, Mehta N. Current status of 3D printing in spine surgery. J Clin Orthop Trauma. 2018;9(3):218-225.

31. Marro A, Bandukwala T, Mak W. Three-Dimensional Printing and Medical Imaging: A Review of the Methods and Applications. Curr Probl Diagn Radiol. 2016;45(1):2-9.

32. D'Urso PS, Askin G, Earwaker JS, Merry GS, Thompson RG, Barker TM, et al. Spinal biomodeling. Spine (Phila Pa 1976).

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]

1999;24(12):1247-1251.
33. Zein NN, Hanouneh IA, Bishop PD, Samaan M, Eghtesad B, Quintini C, et al. Three-dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation. Liver Transpl. 2013;19(12):1304-1310.
34. Lupulescu C, Sun Z. A Systematic Review of the Clinical Value and Applications of Three-Dimensional Printing in Renal Surgery. J Clin Med. 2019;8(7):990.
35. Claflin J, Waits SA. Three Dimensionally Printed Interactive Training Model for Kidney Transplantation. J Surg Educ. 2020;77(5):1013-1017.
36. Pucci JU, Christophe BR, Sisti JA, Connolly ES Jr. Three-dimensional printing: technologies, applications, and limitations in neurosurgery. Biotechnol Adv. 2017;35(5): 521-529.

[Downloaded from rjms.iums.ac.ir on 2024-12-31]