ورقة بحثية مجلة مفتوحة

استخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد في جراحة الفم والوجه والفكين

أ. د لمى حمود *، زين العابدين عزام علي** ، آدم تميم محمود***

*(كلية طب الاسنان، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني: (Lama.hammoud@manara.edu.sy)

**(كلية طب الاسنان، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني : (Zeinalabidinali7@gmail.com)

***(كلية طب الاسنان، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني: (galaxy.iphone443@gmail.com)

الملخص

تُعد الطباعة ثلاثية الأبعاد من أبرز التقنيات الحديثة التي أحدثت نقلة نوعية في الممارسة الطبية، وخاصة في جراحة الوجه والفكين. يهدف هذا البحث إلى تحليل التطبيقات السريرية والتقنية لهذه التقنية في تحسين نتائج الجراحات الترميمية والتجميلية للفك والوجه. تم استعراض الأنواع المختلفة لتقنيات الطباعة مثلSLA ، SLS، SLM، والمواد المستخدمة، من بوليمرات ومعادن وسيراميك، وكذلك التحديات التقنية والقانونية المرتبطة بها. تركز الدراسة على الفوائد السريرية، مثل تقليل الزمن الجراحي، وزيادة دقة الزرعات، وإمكانية تخصيص النماذج حسب كل مريض. كما أظهرت نتائج البحث أهمية الطباعة ثلاثية الأبعاد في تحسين التخطيط الجراحي عبر استخدام النماذج التشريحية والأدلة الجراحية والزرعات الفردية. توصل البحث إلى توصيات تدعو لاعتماد الطباعة ثلاثية الأبعاد كأداة معيارية في التخطيط الجراحي، وتحديث المناهج الطبية، ودعم التصنيع الحيوي محليًا.

الكلمات المفتاحية: الطباعة ثلاثية الأبعاد، جراحة الوجه والفكين، الأدلة الجراحية، الزرعات المخصصة، النماذج التشريحية.

Abstract

Three-dimensional (3D) printing is one of the most transformative innovations in modern medical practice, particularly in oral and maxillofacial surgery. This study aims to analyse the clinical and technical applications of 3D printing in improving the outcomes of reconstructive and cosmetic facial surgeries. Various printing technologies (e.g., SLA, SLS, SLM) and materials such as polymers, metals, and ceramics are reviewed, alongside technical and legal challenges. The study highlights the clinical benefits, including reduced surgical time, enhanced implant accuracy, and patient-specific customization. Findings emphasize the role of 3D printing in surgical planning using anatomical models, surgical guides, and customized implants. The study concludes with recommendations for adopting 3D printing as a standard tool in surgical workflows, updating medical curricula, and encouraging local biocompatible material production.

Keywords: 3D printing, maxillofacial surgery, surgical guides, customized implants, anatomical models

I. مقدمة

شهدت السنوات الأخيرة تطورًا سريعًا في تطبيق تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد ضمن مجالات الطب والجراحة، وخصوصًا في تخصص جراحة الوجه والفكين الذي يتطلب دقة تشريحية عالية وتخطيطًا فرديًا لكل حالة. تقوم هذه التقنية على تحويل الصور الطبية (مثل الأشعة المقطعية) إلى نماذج واقعية ثلاثية الأبعاد تُطبع باستخدام مواد متوافقة حيويًا، مما يُمكّن الأطباء من تصميم زرعات، وأدلة جراحية، ونماذج عظمية بدقة متناهية.[1]

تُستخدم هذه التقنية حاليًا في مجموعة واسعة من الحالات، تشمل إصلاح العيوب الخلقية، ترميم ما بعد الحوادث، إعادة بناء الفك بعد الاستئصال الورمي، وتخطيط عمليات الزرع الجراحي المعقدة. وبفضل هذه القدرات، ساعدت الطباعة ثلاثية الأبعاد في تقليص الزمن الجراحي، وتحسين التلاؤم التشريحي، وزيادة رضا المريض والطاقم الجراحي على حد سواء.

I. أهمية الدراسة

تكمن أهمية هذا البحث في كونه يُسلط الضوء على تقنيات حديثة تُعيد تشكيل أسس التخطيط الجراحي في الوجه والفكين. فالمجال يتطلب دقة لا توفرها الوسائل التقليدية، وتأتي الطباعة ثلاثية الأبعاد لتُوفر حلولًا مبتكرة تتوافق مع الخصوصية التشريحية لكل مريض. كما أن الفهم المعمق لهذه التقنية يُعد ضرورة للأطباء والمهندسين على حد سواء، بهدف دمجها ضمن بروتوكولات العمل الروتينية، خاصة في العالم العربي الذي لا يزال في طور التبني الأولي لها [2]

II. اهداف الدراسة

- استعراض المبادئ التقنية للطباعة ثلاثية الأبعاد المستخدمة في جراحة الوجه والفكين.
- تحليل تطبيقات الطباعة في التخطيط الجراحي، وتصميم الأدلة والزرعات الفردية.
- توضيح المواد المستخدمة في الطباعة ودورها في التلاؤم الحيوي.
- مناقشة التحديات السريرية والتقنية المرتبطة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد.
- اقتراح توصيات مستقبلية لتطوير استخدامها في الممارسة السريرية والتعليم الطبي.

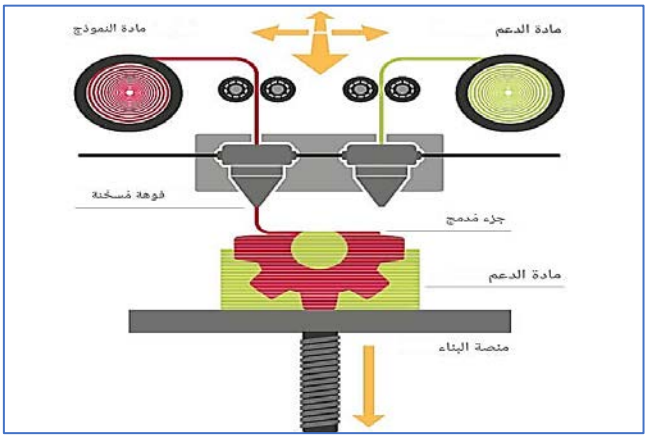
III. إشكالية الدراسة

تكمن رغم التقدم السريع في تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد عالميًا، لا تزال الممارسة السريرية في العديد من الدول – خصوصًا النامية – تفتقر إلى تبني واسع لهذه التقنية بسبب عوائق تتعلق بالكلفة، ضعف البنية التحتية، قلة التدريب، والقيود التنظيمية. ومن هنا تنبع الإشكالية الجوهرية: كيف يمكن للطباعة ثلاثية الأبعاد أن تصبح أداة معيارية وفعالة في جراحة الوجه والفكين، رغم ما تواجهه من تحديات تقنية وتنظيمية؟

IV. آليات وتقنيات الطباعة

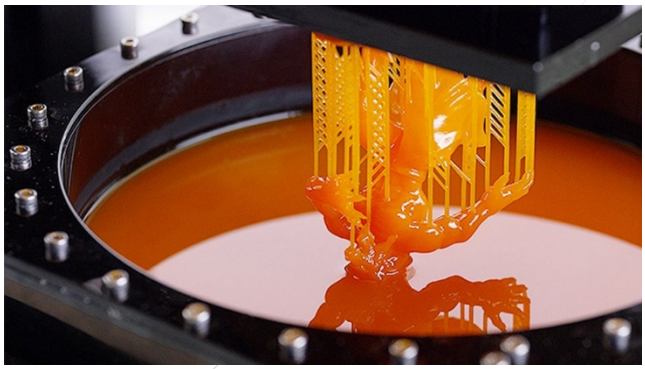
توجد عدة تقنيات مستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد، تختلف من حيث آلية العمل ونوع المادة:

- الترسيب المنصهر :(FDM) تُستخدم فيه خيوط بلاستيكية تذوب وتُطبّق طبقة تلو الأخرى. تُعد منخفضة الكلفة ومناسبة للتدريب والمحاكاة.



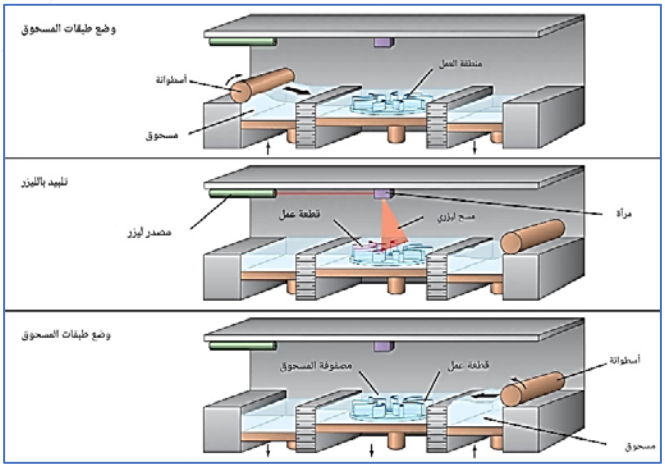
الشكل 1 الطباعة ثلاثية الابعاد بطريقة الترسيب المنصهر

- الراتنج الضوئي :(SLA/DLP) تعتمد على تصلّب الراتنج السائل باستخدام ضوءUV ، وتُستخدم في صناعة الأدلة الجراحية والنماذج عالية الدقة.



الشكل 2 الطباعة ثلاثية الابعاد بطريقة الراتنج الضوئي

- التلبيد الانتقائي بالليزر :(SLS) تعمل على صهر مسحوق البوليمر أو السيراميك باستخدام ليزر، وتُستخدم في تصنيع قطع قوية ومعقدة.



الشكل 3 الطباعة ثلاثية الابعاد بطريقة التلبيد الانتقائي بالليزر

- الطباعة المعدنية الانتقائية :(SLM) تُستعمل لإنتاج زرعات أو صفائح من معادن مثل التيتانيوم، وتوفر دقة وتشابهًا تشريحيًا ممتازًا.[2]

V. المواد المستخدمة

تتنوّع المواد المستخدمة في الطباعة حسب الهدف السريري، ومن أبرزها:

- البوليمرات :مثلPLA ، ABS، .PEEKتُستخدم للنماذج التعليمية والأدلة الجراحية.
- المعادن :مثل التيتانيوم وسبائك الكروم–كوبالت، تُستخدم لطباعة الزرعات والصفائح العظمية.
- السيراميك والمواد الحيوية :لا تزال في طور التطوير وتُستخدم في بعض نماذج تعويض العظم أو طب الأسنان التعويضي.[3]

وتُعد قابلية التعقيم والتوافق الحيوي من أهم الشروط التي يجب توفرها في المواد الطبية المطبوعة، خاصة تلك التي تُستخدم داخل الجسم مباشرة.

جدول 1 مقارنة بين تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد

التقنية	المواد	الدقة	القوة	التكلفة	الاستخدام الأمثل
SLA	راتنجات	عالية جدًا	متوسطة	مرتفعة	التدريب، دلائل الجراحة
FDM	PLA /ABS	متوسطة	منخفضة	منخفضة	النماذج التعليمية
SLS	بوليمر معدن	عالية	عالية	مرتفعة	الزرعات المعقدة
SLM	معادن	عالية جدًا	عالية	عالية جدًا	الزرعات المعدنية الدقيقة
MJ	راتنجات متعدده	عالية جدًا	هشة	مرتفعة	النماذج الملونة
Bioprinting	خلايا حية	تجريبية	قيد البحث	مرتفعة جدًا	الغضاريف / أعضاء بحثية
Binder Jetting	مسحوق +رابطة	متوسطة	هشة	منخفضة	النماذج الأولية

VI. مراحل العمل الرقمي

تمر عملية الطباعة بعدة خطوات متسلسلة:

1 الحصول على صور إشعاعية ثلاثية الأبعاد .(CT/CBCT)

2 تحويل الصور إلى نماذج رقمية

3 تنظيف النموذج وتصميمه باستخدام برامج.CAD

4 إعداد الملف للطباعة وتحويله إلى صيغة.STL

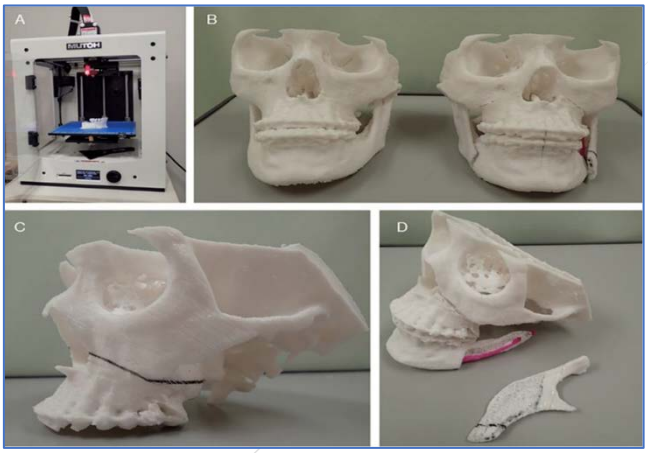
5 اختيار الطابعة والمادة المناسبة وفق الاستخدام السريري.

6 مرحلة ما بعد الطباعة :تشمل التعقيم، التجربة الجراحية، أو التركيب الفعلي.

يُعد التكامل بين فريق طبي وهندسي أمرًا حاسمًا في دقة وسلامة هذه العملية.

VII. التطبيقات السريرية للطباعة 3D في جراحة الوجه والفكين

أ. النماذج التشريحية(Anatomical Models)

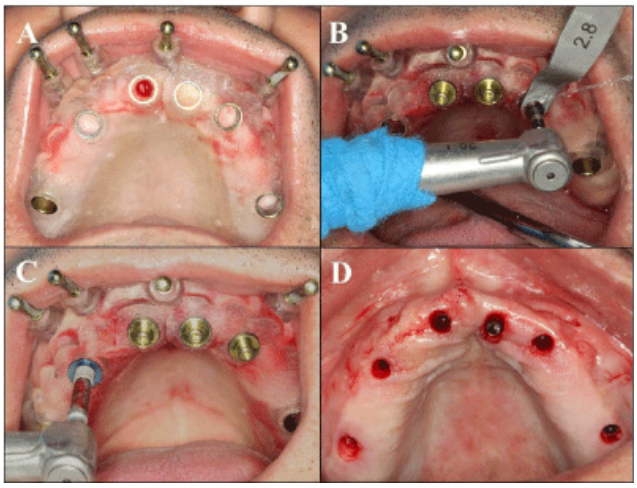


الشكل 4 النماذج التشريحية ثلاثية الأبعاد

تُعد النماذج التشريحية المطبوعة ثلاثيًا أدوات بالغة الأهمية في التخطيط الجراحي، خصوصًا في الحالات المعقدة مثل إعادة بناء الفك بعد استئصال ورم، أو تشوهات خلقية كالشفة الأرنبية أو متلازمة كروتزفيلد. يُمكن بفضل هذه النماذج أن يحصل الجراح على رؤية ملموسة ثلاثية الأبعاد للعيب قبل الجراحة، مما يُسهّل اتخاذ القرار وتحديد خط القطع العظمي بدقة.[1]

وقد أظهرت الدراسات أن هذه النماذج تُسهم في تقليل مدة العمل الجراحي بنسبة تتراوح بين 20–30%، وتُقلل الحاجة إلى التعديلات أثناء العملية، كما تعزز التواصل مع المريض عبر شرح بصري واضح للحالة والخطة العلاجية.[2]

الأدلة الجراحية المخصصة(Customized Surgical Guides)



الشكل 5 الدليل الجراحي

تُعد الأدلة الجراحية من أهم أدوات الجراحة الموجهة، وتُصمم رقميًا بناءً على الصور الشعاعية، ثم تُطبع بدقة عالية من مواد قابلة للتعقيم.

تُستخدم هذه الأدلة لتحديد:

- موقع قطع العظم بدقة(osteotomy guides)
- أماكن تثبيت الزرعات السنية أو العظمية
- زوايا واتجاهات الثقوب في العمليات التقويمية

ويساعد استخدامها في تقليل هامش الخطأ الجراحي، وتقصير الزمن الجراحي، وتحسين تموضع الزرعة بشكل مباشر [3]. كما تُعتبر ضرورية في حالات إعادة البناء المعقدة، مثل ترميم الفك السفلي باستخدام الشظية.(fibula flap)

الزرعات الفردية المخصصة(Patient–Specific Implants – PSI)

في الحالات التي لا تُناسبها الزرعات الجاهزة، أو عندما يكون العيب العظمي غير متماثل أو معقّد، يُلجأ إلى تصميم زرعة فردية مخصصة اعتمادًا على الجانب السليم أو نموذج رقمي محاكى. تُطبع هذه الزرعات غالبًا من معدن التيتانيوم باستخدام تقنياتSLM ، وتُعدّ مثالية من حيث التواؤم التشريحي والمتانة.[4]

تُستخدم هذه الزرعات في:

- إعادة بناء الفك بعد الأورام أو الرضوض
- ترقيع الحجاج في كسور القاعدة
- دعم الأطراف الاصطناعية الوجهية في حالات الاستئصال الوجهي الجزئي أو الكامل

وقد أثبتت نتائج الدراسات السريرية أن الزرعات المخصصة تقلل معدلات الفشل وتحسن النتائج الوظيفية والجمالية مقارنة بالأنظمة التقليدية.[5]

VIII. تطبيقات في التخطيط التقويمي والجراحة التقويمية

تُستخدم النماذج المطبوعة والأدلة الجراحية لتوجيه العمليات التقويمية المعقدة(Orthognathic surgery) ، مثل:

- جراحة تقدم الفك السفلي أو العلوي(BSSO, LeFort I)
- تصحيح التماثل الوجهي
- علاج حالات سوء الإطباق الشديدة

كما تُستخدم في تنسيق الأقواس الجراحية بين الفكين، مع توفير دقة عالية في نقل الخطة الافتراضية إلى الواقع الجراحي.[6]

IX. الطباعة في الجراحة الترميمية والتجميلية

تُستخدم الطباعة ثلاثية الأبعاد في تصميم:

- دعامات أنفية أو خدية مخصصة
- قوالب لصب الطعوم العظمية
- أقنعة وجهية مخصصة بعد الحروق أو التشوهات

وتُستخدم هذه التطبيقات في الحالات ما بعد الاستئصال الورمي أو الحوادث، وقد ساهمت في استعادة البنية التشريحية والجمالية للوجه بدرجة عالية من التماثل[7] [8] .

X. .المواد والطرق

اعتمدت هذه الدراسة إلى منهج وصفي تحليلي يهدف إلى استعراض التطبيقات السريرية للطباعة ثلاثية الأبعاد في جراحة الوجه والفكين، من خلال تحليل الدراسات المنشورة في قواعد بيانات موثوقة مثل PubMed و .Scopusتم التركيز على الأبحاث الصادرة بين عامي 2014 و2024، باستخدام كلمات مفتاحية دقيقة تشمل: 3D printing، maxillofacial surgery، customized implants، و .surgical guides تم اختيار 7 دراسة وفق معايير منهجية واضحة، شملت الواقعية السريرية، جودة التصميم، وتنوع الاستخدامات التقنية. وقد مكّن هذا الأسلوب من استخلاص رؤية متكاملة حول الفوائد السريرية والتحديات التقنية المرتبطة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في هذا المجال.

XI. الدراسات المرجعية

1. فقد أكّد Dawood أن النماذج التشريحية المطبوعة تُسهم في تحسين فهم الجراح للبنية التشريحية المعقدة قبل الجراحة، مما يُساعد في تقليل الخطأ وتحسين نتائج التخطيط الجراحي [5]. كما بيّن Ventola أن الطباعة ثلاثية الأبعاد تُعد ثورة تقنية في الرعاية الصحية، إذ تسهم في تقليل زمن العمليات وتُحسن الاتساق بين الخطة الجراحية والتنفيذ الواقعي.[3]
2. أما من جهة التصنيع، فقد تناول JAVAID & Haleem التقدم في المواد المستخدمة، مشيرين إلى الانتقال من البوليمرات البسيطة إلى المواد المعدنية الحيوية مثل التيتانيوم، والتي سمحت بإنتاج زرعات مخصصة توافق التشريح الفردي بدقة ميكرونية [4].
3. في السياق السريري، أوضحت Shah أن الأدلة الجراحية المطبوعة لعبت دورًا كبيرًا في تقليل هامش الخطأ الجراحي في عمليات زراعة الفك والتقويم، كما حسّنت رضا المريض وسرعة الشفاء [6]. بينما تناولت .Ciocca أثر الطباعة في إعادة البناء بعد الاستئصال الورمي، مؤكدين أن الزرعات الفردية المطبوعة تؤمن تطابقًا مثاليًا مع الحواف العظمية، وتقلل من الحاجة للتعديلات أثناء الجراحة.[7]
4. على الجانب التنظيمي، تناولت Tack التحديات القانونية المرتبطة باستخدام الزرعات المخصصة، ودعت إلى اعتماد بروتوكولات موحدة تضمن السلامة والجودة في المنتجات الطبية المطبوعة.[8]
5. أخيرًا، ركّزت دراسة .AlAli et alعلى أهمية دمج الطباعة ثلاثية الأبعاد في مناهج التعليم الطبي والجراحي، بهدف تدريب الجراحين على استخدام النماذج التفاعلية، وتحقيق الجاهزية قبل العمليات الكبرى.[1]

6 الاستنتاجات

7 تؤكد الأدلة النظرية المستخلصة من الأدبيات العلمية أن الطباعة ثلاثية الأبعاد تُعد تحولًا جذريًا في مجال جراحة الوجه والفكين، حيث ساهمت في إعادة صياغة مفهوم التخطيط الجراحي من كونه إجراءً تقليديًا إلى عملية رقمية دقيقة قابلة للتخصيص وفق الحالة الفردية. وتبرز أهمية هذه التقنية في قدرتها على إنتاج نماذج تشريحية واقعية، وأدلة جراحية عالية الدقة، وزرعات مخصصة متوافقة حيويًا، بما يُعزز من فعالية العلاج الجراحي ويُقلل من المضاعفات.

8 لقد أظهرت الدراسات أن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد يؤدي إلى تقليص الزمن الجراحي، وتحسين تموضع الزرعات، وزيادة رضا الفريق الطبي والمريض، بالإضافة إلى تقليل الحاجة للتعديلات أثناء الجراحة. ومع ذلك، فإن الاستفادة القصوى من هذه التقنية ما تزال مرهونة بتجاوز بعض التحديات، مثل كلفة التجهيزات، والحاجة إلى تدريب مشترك بين الكوادر الطبية والهندسية، ووضع تشريعات واضحة لتنظيم استخدامها.

9 بناءً على ذلك، يمكن القول إن الطباعة ثلاثية الأبعاد لم تعد تقنية مستقبلية، بل أصبحت أداة عملية يجب دمجها ضمن بروتوكولات العلاج والتعليم الجراحي، لما لها من تأثير مباشر في تحسين النتائج السريرية وتحقيق رعاية متمركزة حول المريض.

المراجع

[1]. AlAli, A., Griffin, M. F., & Butler, P. E. (2022). *3D printing applications in surgical education: A systematic review*. Surgical Innovation, 29(1), 20–30. https://doi.org/10.1177/15533506221075246

[2]. He, Y., Xue, G., Fu, J., & Liu, Y. (2020). *Advances in 3D printing in biomedical applications*. Journal of Medical Systems, 44(6), 108. https://doi.org/10.1007/s10916-020-01559-8

[3]. Ventola, C. L. (2014). *Medical applications for 3D printing: Current and projected uses*. Pharmacy and Therapeutics, 39(10), 704–711.

[4]. Javaid, M., & Haleem, A. (2019). *Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review*. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research, 9(3), 179–185.

[5]. Dawood, A., Marti Marti, B., Sauret-Jackson, V., & Darwood, A. (2015). *3D printing in maxillofacial surgery: From planning to implementation*. British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 53(7), 585–591.

[6]. Shah, R., Logani, A., Bhaskar, U., & Aggarwal, S. (2021). *Role of surgical guides in implantology: A review*. Journal of Clinical and Diagnostic Research, 15(3), ZE01–ZE05.

[7]. Ciocca, L., De Crescenzio, F., Fantini, M., Scotti, R., & Baldissara, P. (2020). *Computer-aided design and manufacturing for maxillofacial defects: Customized titanium mesh as a scaffold for bone reconstruction*. Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 48(2), 105–112.

[8]. Tack, P., Victor, J., Gemmel, P., & Annemans, L. (2016). *3D-printing techniques in a medical setting: A systematic literature review*. BioMedical Engineering OnLine, 15(1), 115. https://doi.org/10.1186/s12938-016-0236-4

[9]. Ayoub, N., Wray, D., Moos, K., & Smith, C. (2022). *Surgical planning in orthognathic surgery using virtual simulation and 3D printing*. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 80(2), 233.e1–233.e8