

## Evaluation of infection following the use of 3D printed polyetheretherketone facial implants in repair of maxillofacial deformities

Dr. Hikmat Yaqoub\*

Dr. Ali Khalil\*\*

Ahmed Fayez Ahmed\*\*\*

(Received 14 / 3 / 2022. Accepted 22 / 5 / 2022)

### □ ABSTRACT □

**Objective:** This study aims to evaluate early and late infection after using of facial implants manufactured specifically for the patient using 3D printing technology in the reconstruction of maxillofacial deformities.

**Materials and methods:** The research sample consisted of 10 patients suffering from deformities at the face (traumatic patients in the maxillary region who suffer from physical deficiency defects in hard tissues, oncology patients who were subjected to a previous surgical procedure in the region of the orbital region, upper jaw, chin, and This resulted in a physical deficiency in the bone, chin retraction, congenital malformations patients, half-facial deficiency syndrome patients) between 2020 and 2021 in the Department of Oral and Maxillofacial Surgery at Tishreen University Hospital - Lattakia - Syria. All patients underwent a CT scan Computerized using a device provided that a large number of sections are available (more than 200 sections in each axis) and the thickness of the section is less than 1 mm with an accuracy of 64 bit, then a design was made for the required facial implant in coordination between the designer and the surgical team. peek material, and then performing surgical operations for patients under general anesthesia according to the appropriate surgical approach and fixing the implants by titanium screws with antibiotic coverage. They were followed up regularly after surgery a week, one month and three months to make sure there were signs of infection.

**Results:** A late infection was observed in only one case within the chin area without a response to drug treatment, which prompted us to perform a surgical procedure to remove the facial implant with an infection rate of 10%.

**Keywords:** 3D printing \_ facial deformities \_ implants specially manufactured for patients \_ polyether ether ketone.

---

\*Professor \_ Department of Oral and Maxillofacial Surgery \_ Faculty of Dentistry \_ Tishreen University- lattakia- syria.

\*\*Associate Professor \_ Department of Oral and Maxillofacial Surgery \_ Faculty of Dentistry \_ Tishreen University- lattakia- syria.

\*\*\*PHD Student \_ Department of Oral and Maxillofacial Surgery \_ Faculty of Dentistry \_ Tishreen University- lattakia- syria.

## تقييم الانتان التالي لاستخدام الزرعات الوجهية المصنوعة من مادة polyetheretherketone بتقنية الطباعة ثلاثية الابعاد في اصلاح تشوهات الوجه و الفكين

د. حكمت يعقوب\*

د. علي خليل\*\*

احمد فايز احمد\*\*\*

(تاريخ الإبداع 14 / 3 / 2022. قُبل للنشر في 22 / 5 / 2022)

### □ ملخص □

**الهدف :** تهدف هذه الدراسة الى تقييم الانتان المبكر و المتأخر لاستخدام الزرعات الوجهية المصنعة خصيصا للمريض بتقنية الطباعة ثلاثية الابعاد في ترميم تشوهات الوجه و الفكين .

**مواد و طرائق البحث :** تألفت عينة البحث من 10 مرضى يعانون من تشوهات على مستوى الوجه (مرضى الرضوض في المنطقة الفكية الوجهية الذين يعانون من عيوب نقص مادي بالنسج الصلبة ،مرضى الأورام الذين تعرضوا لاجراء جراحي سابق في منطقة منطقة الحجاج و الفك العلوي و الذقن و نتج عنه نقص مادي في العظم ،حالات تراجع الذقن الشديدة ،مرضى التشوهات الولادية ،مرضى متلازمة نقص نمو نصف الوجه ) و ذلك بين عامي 2020 و 2021 في قسم جراحة الفم والوجه والفكين في مشفى تشرين الجامعي - اللاذقية - سوريا .خضع جميع المرضى للتصوير المقطعي المحوسب باستخدام جهاز بشرط توفر عدد كبير من المقاطع ( اكثر من 200 مقطع في كل محور) و سماكة المقطع اقل من 1 ملم بدقة 64 bit ، ثم تم اجراء تصميم للزرعة الوجهية المطلوبة بالتنسيق بين المصمم و الفريق الجراحي بعد ذلك تم طباعة الزرعة الوجهية النهائية من مادة peek ثم إجراء الاعمال الجراحية للمرضى للمرضى تحت التخدير العام وفق المدخل الجراحي المناسب و تثبيت الزرعات بواسطة براغي التيتانيوم مع تغطيتهم بالصادات الحيوية و تمت متابعتهم بانتظام بعد الجراحة باسبوع و شهر و ثلاث أشهر للتأكد من وجود علامات انتان .

**النتائج :** لوحظ وجود انتان متاخر في حالة واحدة فقط ضمن منطقة الذقن دون استجابة للمعالجة الدوائية من دفعنا لاجراء عمل جراحي لازالة الزرعة الوجهية بنسبة انتان 10%.

**الكلمات المفتاحية :** الطباعة ثلاثية الابعاد \_ التشوهات الوجهية \_ الزرعات المصنعة خصيصا للمرضى \_ بولي ايتير اينتر كيتون.

\* أستاذ \_ قسم جراحة الفم و الفكين \_ كلية طب الاسنان \_ جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

\*\* أستاذ مساعد \_ قسم جراحة الفم و الفكين \_ كلية طب الاسنان \_ جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

\*\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) \_ قسم جراحة الفم و الفكين \_ كلية طب الاسنان \_ جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## مقدمة

تمثل العيوب المكتسبة في الجمجمة و الوجه و الفكين تحدياً ترميمياً للجراحين و تنشأ هذه العيوب اما بسبب السرطانات أو الرضوح أو التشوهات الولادية أو الاصابات الانتانية المعنّدة. ظهرت تقنيات الترميم بالطعوم العظمية الذاتية منذ 1600 و اصبحت الطعوم العظمية الذاتية بمثابة "المعيار الذهبي" في إعادة بناء عيوب الجمجمة و ذلك بسبب ميزاتها من تكاليف منخفضة وخصائص الحد الأدنى من الرفض .ولكن كميتها المحدودة و التشوهات التي ممكن ان تصيب الموقع المانح للطعم و صعوبة تشكيل الطعم بالشكل المناسب دفع للبحث عن تقنيات و مواد تعويضية جديدة .

تم تقديم الطباعة ثلاثية الأبعاد (3D Printing) ، والمعروفة أيضاً باسم النمذجة الأولية السريعة ( Rapid Prototyping) ، لأول مرة في الثمانينيات. خلال العقود الثلاثة الماضية ، تم إجراء تغييرات وتطويرات هائلة من قبل العلماء الذين قاموا بتعديل هذه التكنولوجيا والمواد المستخدمة فيها . في مجال الجراحة القحفية الوجهية ، تم استخدام نماذج جراحية ثلاثية الأبعاد كقوالب لقطع الطعوم العظمية ، وتصميم زرعات للتعويضات الوجهية ، والتشكيل المسبق للصفائح المعدنية ، و طباعة موجّهات جراحية لقطع العظام ، و طباعة الجبائر الاطباقية الخاصة بعمليات الجراحة التقييمية .

ثبت أن استخدام النماذج والموجهات الجراحية ثلاثية الأبعاد يقلل من وقت العملية ويقلل من المضاعفات المرتبطة بها، حيث ان الهدف النهائي لأي إجراء جراحي هو تحسين الشكل والوظيفة للمريض وتقليل نسبة الامراضية خلال و ما بعد الجراحة. أعلنت العديد من التطورات التكنولوجية المثيرة والجديدة عن حقبة جديدة في مجال جراحة الفم والوجه والفكين على مدار السنوات الماضية ، وتعد الطباعة ثلاثية الأبعاد أكثرها حداثة.

## أهمية البحث و أهدافه :

في الممارسة الطبية الحديثة توجد مقولة "مقاس واحد لا يناسب الجميع" ، ويجب أن تكون عمليات الزرع مصممة وفقاً لاحتياجات المريض الفردية . تتبع أهمية البحث من ميزات الزرعات المصنعة خصيصاً للمريض patient specific (psi) implant كونه يتم تصميمها قبل الجراحة وفقاً للشكل والحجم الدقيق للعيب، مما يسمح بتقصير وقت العمل الجراحي وانخفاض عدد التعديلات أثناء العمل الجراحي، وبالتالي ضمان الاستقرار بعد الجراحة والنتائج التجميلية الجيدة وكذلك تجنب الأمراض في الموقع المانح للطعم الذاتي او عدم كفاية الطعم الذاتي كما إنّ تشكيل المحيط بالجراحة للطعوم الذاتية و/أو الطعوم المغايرة صعب ويستغرق وقتاً طويلاً. يصعب إعادة تشكيل المستويات والمنحنيات المختلفة للمنطقة الأمامية الحاجبية باستخدام مواد تصنيعية مغايرة، خاصةً عندما تكون الحافة الحاجبية والجدران مُتضمّنة في الخلل ،خصوصاً في بلد مثل سوريا كثر في الاصابات الوجهية المعقدة نتيجة الاصابات الحربية . تهدف هذه الدراسة تقييم الانتان المبكر و المتأخر لاستخدام الزرعات الوجهية المصنعة خصيصاً للمريض بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في ترميم تشوهات الوجه و الفكين .

## 3.المراجعة النظرية :

تم استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في جوانب متنوعة من التصنيع لإنتاج أشياء مختلفة كأجزاء معينة من الطائرات والقوارب والطعام إلى نماذج ثلاثية الأبعاد للأجنة [1]، وهي عملية تصنيعية يتم فيها تصنيع الأشياء بطريقة طبقات

أثناء الصهر أو ترسيب مواد مختلفة مثل البلاستيك أو المعدن أو السيراميك أو المساحيق أو السوائل أو حتى الخلايا الحية لبناء هيكل ثلاثي الأبعاد [2] حيث يتم إنشاء نماذج مادية من المخططات الرقمية بمساعدة الكمبيوتر في نظام طبقة تلو طبقة تُعرف هذه العملية أيضًا باسم RP أو تقنية الشكل الحر الصلب (SFF) أو التصنيع الإضافي (AM) [3,4,5,6].

تعد تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد ليست جديدة وهي موجودة منذ 40 عامًا [7,8]. تم تقديم هذه التقنية واختراعها لأول مرة بواسطة Charles Hull في عام 1986 ، وفي البداية تم استخدامها في صناعة السيارات والهندسة لتصنيع هياكل البولي يوريثين لمختلف النماذج والقطع والأدوات [9]. في الأصل ، استخدم Hull عبارة "الطباعة الحجرية المجسمة" في براءة الاختراع الأمريكية رقم 4,575,330 ، والتي يطلق عليها "جهاز لإنتاج أشياء ثلاثية الأبعاد بواسطة الطباعة الحجرية المجسمة" المنشورة عام 1986. تضمنت تقنية الطباعة الحجرية المجسمة (SL) دمج طبقات فرعية فوق بعضها البعض، عن طريق معالجة البوليمرات الضوئية مع الليزر فوق البنفسجي [10,11] منذ عام 1986 ، بدأت هذه العملية في التسارع وتم وانتشرت على مستوى العالم وأثرت على مجالات مختلفة ، مثل الطب. يشجع السوق النامي للطابعات ثلاثية الأبعاد المكتنبة على إجراء تجارب واسعة النطاق في جميع المجالات. بشكل عام، إن الاستطباعات الطبية لهذه الطابعات المكتنبة هو التخطيط العلاجي ، وتصنيع الأطراف الاصطناعية ، والتدريب الطبي، واستخدامات أخرى [4]. نظرًا لاستخدامه في صناعة الأسلحة ، وصناعة الأغذية ، و الأدوات و الموجهات الجراحية ، فقد حظي RP باهتمام كبير في مجال الجراحة في السنوات العشر الماضية [5,12]. إن الاستخدام الرائد لـ SL في جراحة الفم والوجه والفكين كان من قبل Brix و Lambrecht في عام 1985. لاحقًا، تم استخدام هذه التقنية من قبلهم للتخطيط للعلاج في الجراحة القحفية الوجهية [13]. في عام 1990 ، تم استخدام تقنية SL بواسطة Mankovich ومن معه لعلاج المرضى الذين يعانون من تشوهات قحفية وجهية [14,15]. حيث استخدموه لمحاكاة التشريح العظمي للقحف باستخدام التصوير المقطعي المحوسب (CT) [16].

لقد اكتسبت الطباعة ثلاثية الأبعاد مؤخرًا سمعة جيدة في مجالات الطب والجراحة [17]، من خلال المساعدة في عمليات إعادة بناء القحف والوجه المعقدة . اليوم ، يمكن أن تستفيد جراحة الوجه والفكين من التصنيع الإضافي في جوانب مختلفة وحالات سريرية مختلفة [18]. يمكن أن تساعد هذه التقنية في ثني الصفائح الجراحية قبل العمل الجراحي ، وتصنيع قوالب للطعوم العظمية ، وصناعة الزرعات السنية ، وأدلة قطع العظم ، و صناعة الزرعات الوجهية والجباير الإطباقية الخاصة بالجراحات التقويمية [19,20]. يمكن لـ RP تقصير مدة الجراحة وتبسيط اتخاذ القرارات قبل العملية وأثناءها. لقد عززت هذه التقنيات فعالية ودقة العمليات الجراحية.

### عملية التصنيع وأنواع النماذج :

هناك تقنيات مختلفة تم تقديمها للطباعة ثلاثية الأبعاد. تضم تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد المعروفة النفت المازج (BJ) ، الإذابة بشعاع الإلكترون (EBM) ، نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) ، العمليات غير المباشرة ، الإذابة بالليزر (LM) ، التليد بالليزر (LS) ، نفت المواد (MJ) ، النفت الضوئي (PJ) ، و (SL) [21].

#### 1 الطباعة الحجرية المجسمة (SL) Stereo lithography:

بدأت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد الأولية SL في أواخر الثمانينيات [12]، تستخدم تقنية SL الأصلية شعاع ليزر لبلمرة الراتنج في أنماط ثنائية الأبعاد [22]، تنتج تقنية SL مجسمات ثلاثية الأبعاد عن طريق معالجة طبقات من

بوليمر ضوئي سائل أو من راتنجات الايبوكسي باستخدام ليزر UV منخفض الطاقة لكونها طريقة تصنيع المواد المضافة الرائدة. تقوم تقنية SL بإسقاط ليزر UV إلى مقطع عرضي لطبقة واحدة من الراتنج على بوليمر ضوئي مما يؤدي إلى تكوين الطبقة. يتكرر هذا حتى تصنيع جميع مناطق المنتج. تستخدم هذه التقنية مرآة لتوجيه الليزر إلى السطح بطريقة الطبقة تلو الأخرى. علاوة على ذلك، يقوم الجهاز ثلاثي الأبعاد بإسقاطه على راتنجات السطح. يتم هذا الإجراء من القاعدة إلى السطح [23]. من الضروري استخراج المواد الزائدة يدوياً من النتيجة النهائية [24]. في الوقت الحاضر، تُعرف SL بأنها المعيار الذهبي في التصنيع ثلاثي الأبعاد بدقة إنتاج تصل إلى 0.025 مم. يعتبر SL موثوقاً به في إعادة بناء الأطر الداخلية وهو أكثر كفاءة في تصنيع الأجسام الكبيرة [25]. يجب أن تكون المواد المستخدمة في هذا النظام هشة وخفيفة إلى حد ما [26]. يشجع استخدام الأكريليك والإيبوكسي لهذه الطريقة [27]. ومع ذلك، لا يزال SL يتطلب التعامل اليدوي بعد التصنيع، وتستغرق العملية أكثر من يوم لتكتمل. تعد تكلفة تقنية SL أكثر تكلفة من التقنيات الأخرى بسبب المواد المستخدمة، وتعتبر الطباعة أكثر تكلفة بسبب التكلفة العالية للمواد الخام وصيانة الجهاز [28]. يتم استخدام SL إلى حد كبير لإنتاج موجهات لحفر الزرعات السنية [14]. تعتبر القدرة على بناء هياكل معقدة ومفصلة، واستخراج الراتنج الزائدة دون صعوبة، والدقة العالية للغاية (~ 1.2 ميكرومتر) من المزايا الرئيسية لتقنية SL [14].

## 2 نمذجة الترسيب المنصهر (FDM) Fused deposition modeling :

يستخدم FDM مبدأً مشابهاً لـ SL من حيث أنه يبني النماذج على أساس الطبقة تلو الأخرى. عندما يكون هناك نقاش حول الفعالية مقابل التكلفة، يعتبر FDM من بين أكثر طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد للمستهلكين استخداماً [29]. في FDM، يتم بثق خيوط ذائبة من مادة لدائن حرارية من فوهة تتحرك في المستوى X-Y وتتصلب عند الترسيب على لوحة التصميم [30]. يتم خفض لوحة التصميم بمقدار 0.1 مم بعد ظهور كل طبقة مرة أخرى. تتكرر العملية حتى يتم إنتاج المنتج النهائي. إن المواد الخام الأكثر استخداماً في طابعات FDM هي مادة الأكريلونيترييل - بوتادين - ستايرين (ABS) وحمض بوليلاكتيك (PLA) المعروفة بكونها مكونات أساسية لهياكل السقالات المستخدمة في "الطباعة الحيوية".

إن المساوئ والعيوب الملحوظة في FDM هي الإعاقة في تشكيل هياكل معقدة وفي معظم الهياكل التشريحية ذات الأشكال المعقدة. لتصنيع منتج نظيف، تعتبر الهياكل الداخلية المجوفة أو الفتحات ذات النهايات العمياء مزعجة بشكل خاص. جميع طابعات FDM المنزلية تقريباً محدودة حالياً في التصنيع أحادي اللون والمواد الأحادية. ومع ذلك، يمكن التغلب على هذا من خلال تقنية الطرد المزوج المطورة حديثاً. في هذه التقنية، يمكن بثق خيطين من ألوان أو مواد مختلفة من رأس طباعة عادي.

## 3 نمذجة PolyJet :

تعد الطباعة عبر نمذجة Multijet، والمعروفة أيضاً باسم MultiJet Printing، مشابهة لـ SL؛ لكن الفرق هو أن الفوتوبوليمر السائل تتم معالجته على الفور بواسطة ضوء الأشعة فوق البنفسجية [31]. يمكن لطباعة النمذجة Multijet تصنيع نماذج أولية بدقة عالية (16 μ) تضاهي أو حتى أفضل من SL. لكن الميزة هي القدرة على الطباعة باستخدام مواد متعددة للحصول على الدرجة المطلوبة من قوة الشد والمتانة. تعد طباعة MJM أسهل في الصيانة من نظام SL. لكن على الجانب الآخر، فإن العيب هو السعر المرتفع لهذه الطابعات مما يجعل (MJM) (Multi Jet Modeling) أكثر ملاءمة للإنتاج على نطاق واسع بدلاً من الاستخدامات المكتبية. لكن العيب هو أن

المعدات والمواد مكلفة للشراء والتشغيل ، ويمكن أن تكون مواد الدعم صعبة ومزعجة إلى حد ما في الإزالة. إنها مفيدة لطباعة نماذج الدراسات التشريحية ، ولكنها غالية الثمن عند إنتاجها. هناك ميزة خاصة لهذه التقنية هي أن استخدام رؤوس الطباعة المتعددة يسمح بالطباعة المتزامنة بمواد مختلفة ، ومزيج متدرج من المواد ، مما يجعله من الممكن تغيير خصائص الجسم المطبوع ، والذي قد يحتوي على سبيل المثال على أجزاء مرنة وصلبة ، من أجل إنتاج الجبائر الخاصة بتقويم الأسنان[12].

#### 4 التطبيقات السريرية للطباعة ثلاثية الأبعاد :

تعد الطباعة ثلاثية الأبعاد متاحة منذ أكثر من ثلاثة عقود. وعلى الرغم من ذلك ، فقد استفاد الطب من تطبيقاتها مؤخرًا [19]. كما ذكرنا سابقًا ، يمكن أن تكون النماذج المطبوعة ثلاثية الأبعاد مفيدة في جوانب مختلفة من جراحة الوجه والفكين مثل القوالب والجبائر والزرعات المصممة خصيصًا وغيرها [20]. يمكن أن تقلل هذه النماذج من مدة الجراحة وأن تعزز النتائج. يمكن أن تصبح تقنية RP مفيدة جدًا لكل من الطبيب والمرضى في التخطيط للعلاج لكل مريض على حدة. توسعت الاستخدامات الطبية للطابعات ثلاثية الأبعاد بعد التطورات الأخيرة في هذه الأنظمة. في جراحة الفم والوجه والفكين، تم استخدام طرق الطباعة ثلاثية الأبعاد لأغراض مختلفة بما في ذلك تصنيع العظم وعلاج التشنجات القحفية الوجهية [32].

فيما يلي التطبيقات الرئيسية لتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في جراحة الفم والوجه والفكين:

#### 1.4 جراحة الرضوض :

يمكن للطابعات ثلاثية الأبعاد أن تسهل علاج مرضى الرضوض الذين يعانون من كسور وتشوهات حديثة أو متأخرة. يمكن أن نستفيد من الطباعة ثلاثية الأبعاد في علاج الكسور المتعددة لهياكل الوجه والفكين ، و تحديدًا كسور جدار الحجاج [33]. يمكن علاج هؤلاء المرضى عن طريق إعادة بناء ثلاثية الأبعاد مخصصة لتشوهات الجدار الحجاجي بشبكة أو صفيحة من التيتانيوم[34]. قبل بدء الجراحة ، يتم تكييف شبكة أو لوحة التيتانيوم بدقة على النسخة المتماثلة المطبوعة ثلاثية الأبعاد للمساعدة في تقصير مدة التخدير العام[35]. يجعل التشريح المعقد والمفصل للحجاج إعادة تصنيع التشوهات الحجاجية أمرًا صعبًا. من المؤكد حدوث التهاب باطن العين أو ازدواجية الرؤية بعد الجراحة عند عدم إجراء إعادة بناء دقيقة وسليمة للجدران الحجاجية. يمكن للجراحين حل هذه المضاعفات باستخدام شبكة التيتانيوم المطبوعة ثلاثية الأبعاد باستخدام التشريح الحجاجي المقابل للعين الأخرى[21,36]. قام ساسوا وآخرون بتقييم تطبيق الزرعات المصنعة خصيصًا باستخدام نظام الطباعة ثلاثية الأبعاد لإعادة تصنيع أرضية الحجاج في الكسور الانفجارية. بعد الجراحة ، انخفض متوسط الحجم الحجاجي (OV) للجانب المصاب بشكل ملحوظ ، ولم يكن OV للحجاج المصحح مختلفًا مقارنةً بالجانب غير المصاب [36].

#### 2.4 الجراحة التقيومية :

يعد التخطيط الدقيق واتخاذ القرار بناءً على التشخيص الدقيق أمرًا بالغ الأهمية في نجاح جراحات تقويم الفكين [37]. كما ذكرنا سابقًا ، تُظهر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بعض الأخطاء الملحوظة سريريًا في جراحة تقويم الفكين والتي تعتبر مزعجة لإطباق الأسنان المثالي [21].

### 3.4 التعويضات الوجهية:

هناك تقارير عن تصنيع أنف اصطناعي [38] ، آذان [39] ، عيون [40] ، والوجه [41] ، في السنوات الماضية. يشير الأدب الطبي إلى أنه يتم تحقيق نتائج جمالية ووظيفية أفضل مع تطبيق الطباعة ثلاثية الأبعاد مقارنة بالتعويضات الصناعية التقليدية . يتم استخدام التعويضات الصناعية للوجه المصنوعة باستخدام طرق RP بنجاح.

### 4.4 إعادة بناء المفصل الفكي الصدغي TMJ بشكل مخصص:

تعد الرؤية الكافية والوصول أمرًا بالغ الأهمية في مجال إعادة بناء المفصل الصدغي الفكي (TMJ) ، وذلك لمنع أذية العديد من البنى الحيوية . يجب وضع الطعوم المماثلة واللاعضوية بدقة لاستعادة الوظيفة الصحيحة للفك . يمكن أن تصبح الطباعة ثلاثية الأبعاد مفيدة في علاج اضطرابات المفصل الصدغي الفكي (TMD) عند الذين يعانون من اذية واستئصال كامل لرأس اللقمة [16]. عالج ميهرًا ومن معه مريضاً عن طريق التطعيم العظمي والبدائل الاصطناعية للمفصل الفكي الصدغي باستخدام التصنيع الإضافي. تساعد الطباعة ثلاثية الأبعاد في قياس النسب الدقيقة للعظام التي يجب أخذها [18].

### 5.4 إعادة التصنيع الوجهي المعقد:

تعد الآفات المرضية والحوادث الرضية والانتانات من المسببات الرئيسية لعيوب الفك السفلي التي تحتاج إلى استئصال جزئي وإعادة بناء عظمي [16]. يعد الحفاظ على النتائج الجمالية والوظيفية المقبولة وتتناسق الوجه من الأهداف الرئيسية لإعادة بناء الفك السفلي. تعد صفائح إعادة البناء المصنوعة من التيتانيوم متوافقة حيويًا وقابلة للتكيف من أجل إعادة البناء المؤقت [16].

يتم استخدام الطعوم العظمية الذاتية بشكل شائع من أجل إعادة بناء أكثر موثوقية. تشكل مورفولوجيا الفك السفلي والمرفقات العضلية التي تحرك الفك تحديًا لجراحي الفم والوجه والفكين في عمليات إعادة بناء الفك السفلي. يمكن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في جوانب مختلفة من إعادة بناء الوجه. تستخدم هذه التقنية على نطاق واسع لإعادة بناء الفك السفلي [42]. تشمل المزايا الرئيسية لاستخدام التصنيع الإضافي في إعادة بناء الفك السفلي الفهم التشريحي الأفضل، والتكيف المناسب للصفائح ، والانحناء المسبق لها ، والحصاد الدقيق للعظام من خلال استخدام الموجات الجراحية، وتقليل مساحة الصفيحة العظمية، وتقليل مدة الجراحة ، ونزف اقل ، وتقصير مدة التخدير العام .

### 6.4 التعلم الجراحي و التدريب الطبي :

بصفتنا جراحي الفم والوجه والفكين ، من المتوقع أن نتقن التشريح المفصل لمنطقة الرأس والعنق والعلاقة المكانية بينهما. يمكن للمرضى والمتدربين والمقيمين الاستفادة من النماذج ثلاثية الأبعاد المطبوعة [43]. إن رسوم الصيانة المرتفعة والمضاعفات الثقافية والاجتماعية وقضايا السلامة المتعلقة بالفورمالين تجعل الجثث مصدرًا محدودًا للتعليم الطبي [44,45]. يمكن للمتدربين الطبيين الحصول على فهم أفضل للهيكल التشريحي باستخدام النماذج المطبوعة ثلاثية الأبعاد. تسمح هذه النماذج بتدريب شامل وكامل قبل أن تبدأ الجراحة حتى [46]، ويمكن للجراحين إجراء عمليات جراحية معقدة على نماذج ثلاثية الأبعاد دون أي مخاوف أو مضاعفات [47]. يمكن أن تساعد الطباعة ثلاثية الأبعاد أيضًا في فهم أفضل للحالة الطبية للمرضى بدلاً من شاشة مسطحة ثنائية الأبعاد. أجرى Kah Heng Alexander ومن معه تجربة عشوائية ذات شواهد مزدوجة التعمية لمقارنة نجاح الطباعة ثلاثية الأبعاد مع الجثث البشرية لتمييز تشريح القلب الخارجي. حصلت النماذج المطبوعة ثلاثية الأبعاد على درجات أعلى بكثير مقارنة بالجثث أو المجموعات المدمجة [43].

**7.4 تثقيف المرضى:**

إن محاولة تحقيق توقعات المريض يعد أمراً بالغ الأهمية للحصول على نتائج جراحية ناجحة. يمكن تبسيط العلاقة المهنية بين الجراح والمريض باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد. يمكن للمرضى فهم التفاصيل الجراحية والنتائج المختلفة والعقبات المحتملة في الاستشارات قبل الجراحة. لذلك، يمكن أن تساعد النماذج المصنوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في الحصول على الموافقة الخطية. عادة ما يصعب فهم فحوصات التصوير المقطعي المحوسب / التصوير بالرنين المغناطيسي التي نستخدمها اليوم لشرح الإجراء للمرضى خاصة بالنسبة للمرضى غير المتعلمين.

و من اهم المواد المستخدمة في الطباعة ثلاثية الأبعاد هو البولوي إيثر إيثرون (PEEK).

- البولوي إيثر إيثرون (PEEK) :

مادة صناعية بوليميرية بلون مائل للأبيض يتم استخدامها كمادة حيوية في الجراحة العظمية منذ سنوات عديدة [48,49] تعد مادة شبه بلورية لها نقطة انصهار حول 335 درجة مئوية. يمكن تعديل PEEK إما عن طريق إضافة المونومرات الوظيفية (ما قبل البلمرة) أو تعديلات ما بعد البلمرة بواسطة تفاعلات كيميائية مثل السلفنة والأمينية والنترتة [50].

وتبقى الخاصية المفيدة الرئيسية لهذه المادة أن معامل يونغ السفلي (المرن) (3-4 جيجا باسكال) قريب مما هو عليه في العظام البشرية [51]. يمكن تعديل PEEK بسهولة عن طريق دمج مواد أخرى، على سبيل المثال يمكن أن يؤدي دمج ألياف الكربون إلى زيادة معامل المرونة حتى 18 جيجا باسكال. يتميز التيتانيوم وسبائكه بمعامل مرونة أعلى بكثير من العظام وينتج عنه حدوث ظاهرة الحماية من الإجهاد والفتل [52]. يمكن أيضاً مقارنة معامل PEEK المقوى بالكربون بمعامل العظم القشري وعاج الأسنان [53,54] لذلك يمكن أن يُظهر البوليمر حماية من الإجهاد أقل عند مقارنته بالتيتانيوم الذي يستخدم كمادة زراعة. إضافة إلى أن خصائص الشد لـ PEEK مماثلة أيضاً لخصائص العظام [55]، مما يجعلها مادة ترميمية مناسبة بالنظر إلى خصائصها الميكانيكية.

على عكس التيتانيوم، فإن استخدام PEEK في التطعيم العظمي لا يزال محدوداً للغاية [56]. وبالتالي، تم إجراء أعداد معتبرة من الأبحاث لتحسين النشاط الحيوي لغرسات PEEK [57]. هناك عدد من الطرق التي تم اقتراحها لتحسين النشاط الحيوي لـ PEEK بما في ذلك طلاء PEEK باستخدام طعم عظمي صناعي من هيدروكسيل الأباتيت [55,58]، مما يؤدي إلى زيادة خشونة السطح وتحسين الخواص الكيميائية [59] وزيادة دمج الجسيمات النشطة بيولوجياً [60].

- زراعات PEEK لإعادة بناء الوجه والقحف :

يتطلب التعقيد التشريحي لمناطق الوجه والفكين والقحف ترميم الجبهة والجدران الحاجبية بتناسق مثالي ونتائج وظيفية وشكلية وجمالية جيدة. وبالتالي، فإن المواد الحيوية مثل شبكة التيتانيوم أو ميثيل ميثاكريلات، المستخدمة إلى حد كبير لتصحيح عيوب القحف، غير مناسبة لإعادة بناء الجدران الحاجبية [61]. تعتبر كذلك الطعوم العظمية في الضلع أو القمة الحرقفية صعبة التشكيل ومن الصعب تحديدها أثناء إعادة بناء العيوب الأمامية الحاجبية الصدمية، ويمكن أيضاً أن يحدث ارتشاف العظم. في السنوات القليلة الماضية، دخلت مادة PEEK كمادة لإعادة بناء القحف والمركب الفكي الوجهي [58]. وأصبح هذا ممكناً بفضل تقنيات التصميم بمساعدة الكمبيوتر (CAD) والتصنيع بمساعدة الكمبيوتر (CAM) التي تمكن من تصنيع زراعات دقيقة للغاية مع وظائف معقدة.

تم الإبلاغ عن إحدى الحالات السريرية الأولى لتطبيق مادة PEEK LT1 في إعادة بناء القحف بواسطة الباحثين Scolozzi وآخرون في عام 2007 حيث وصف الباحثون حالة إعادة بناء حجاجي - أمامي - صدغي معقدة باستخدام زرعة PEEK المصممة بالحاسوب خاصة بالمريض (PSI) [55]. بعد ذلك بعامين أشار الباحثون Kim وآخرون عام (2009) [62] الى سلسلة من أربعة مرضى تمت إعادة بناء عيوبهم باستخدام زرعات PEEK المصممة خصيصاً لهم. تابع الباحثون حالة المرضى خلال فترة بعد العمل الجراحي من 16 إلى 20 شهراً. لم يعاني أي من المرضى من مضاعفات متعلقة بالزرع مثل الانتان أو النز أو سوء التوضع وكان لديهم نتائج جمالية ووظيفية ممتازة بعد الجراحة. كما قام الباحثون Goodson وآخرون [63] بوصف حالة سريرية معقدة للغاية تم فيها بنجاح استخدام زرعة PEEK مكونة من قطعتين لإعادة بناء كسر في الحافة الحجاجية وقاع الحجاج ومركب وجني متسطح. تم الإبلاغ أيضاً عن العديد من حالات إعادة بناء القحف باستخدام زرعات PEEK المصنعة بواسطة CAD/ CAM. تسمح الزرعات المصنوعة حسب الطلب بإجراء عملية جراحية نتيجة تلف شديد أو استئصال واسع للأنسجة الهيكلية (تتجاوز 6 سم مربع على التحذب حتى لو كانت تقع في منطقة أمامية خالية من الشعر) بسماكة كاملة لقبة الجمجمة. في هذه الحالات، تعيد عملية رأب القحف، إلى جانب الميزة التجميلية الواضحة، الدور المهم للجمجمة كحاجز مادي عند التعرض للإصابات.

قام الباحثون Lethaus وآخرون [64] بمعالجة اثني عشر مريضاً على التوالي. في سبع حالات تم إدخال زرعات التيتانيوم حسب الطلب والتي تم تصنيعها بواسطة مخروطة، وفي أربع حالات تم إدخال زرعات PEEK وفي حالة واحدة تم إدخال زرعة تيتانيوم مذابة بأشعة الليزر الإلكترونية. وقد أظهرت هذه الدراسة السريرية أن الخصائص الميكانيكية لـ PEEK مناسبة لإعادة بناء عيوب القحف. وتوفر خصائص المرونة وامتصاص الطاقة لـ PEEK، والتي تكون شبيهة بالعظام أكثر من التيتانيوم، حماية أفضل لعملية رأب القحف للمرضى مقارنة بالتيتانيوم [64]. في عام 2015 قام الباحثون O'Reilly وآخرون [65] بإجراء دراسة بأثر رجعي لمدة 6 سنوات لعمليات رأب القحف لدى تسعة عشر مريضاً تلقوا 22 عملية رأب القحف باستخدام PEEK المعتمدة على التصوير الطبقي المحوري. كانت الإصابة القحفية ناتجة عن رض (إصابة) في 19/10 مريضاً، نتيجة ورم في 19/6، بسبب وعائي في 19/2، ونتيجة سكتة دماغية في مريض واحد. احتاجت صفيحة PEEK تعديلاً في أربع حالات. خضع ثلاثة مرضى لإعادة الجراحة بعد إعادة البناء باستخدام زرعة PEEK. استنتج الباحثون أن استخدام زرعة PEEK المصنعة باستخدام تقنية CAD/CAM لإعادة بناء القحف له العديد من المزايا: سهولة التركيب مع دقة تشريحية ممتازة ونتائج جمالية، توفير الوقت المحتمل أثناء العملية، كما يمكن تعديل الزرعة بسهولة في غرفة العمليات [37].

### طرائق البحث و موادّه :

خضع 10 مرضى يعانون من تشوهات على مستوى الوجه لعمليات ترميم بواسطة زرعات وجهية مصنوعة من مادة الـ peek وفق نظام الطباعة ثلاثية الابعاد بين عامي 2020 و 2021 في قسم جراحة الفم والوجه والفكين في مشفى تشرين الجامعي - اللاذقية - سوريا .

### 1معايير القبول :

\*مرضى الرضوض في المنطقة الفكية الوجهية الذين يعانون من عيوب نقص مادي بالنسج الصلبة .

\*مرضى الأورام الذين تعرضوا لاجراء جراحي سابق في منطقة منطقة الحجاج و الفك العلوي و الذقن و نتج عنه نقص مادي في العظم .

\*حالات تراجع الذقن الشديدة.

\*مرضى التشوهات الولادية.

\*مرضى متلازمة نقص نمو نصف الوجه

## 2 معايير الاستبعاد :

\*مرضى الأورام في طور الشفاء .

\*مرضى يعانون من وجود انتان في المنطقة المستقبلية للزرعة الوجهية .

\*خضع جميع المرضى للتصوير المقطعي المحوسب بالمحاور الثلاث باستخدام جهاز Slice CT Toshiba Imaging Scanner بشرط توفر عدد كبير من المقاطع ( اكثر من 200 مقطع في كل محور) و سماكة المقطع اقل من 1 ملم بدقة 64 bit .

## 3 الحصول على البيانات الرقمية وإعدادها :

بالنسبة لنمذجة البيانات التشريحية ، تم إنشاء النماذج التمثيلية للبيانات التشريحية للمريض بناءً على البيانات الأولية الإشعاعية للمريض التي تم الحصول عليها بتنسيق التصوير الرقمي (DICOM) من بيانات المسح المقطعي المحوسب. في تنسيق DICOM بسماكة مقطع تتراوح بين 0.3 و 0.6 ملم اعتمادًا على المنطقة التشريحية. تم استخدام برنامج برمجيات النمذجة الطبية (EXoCad) لتجميع بيانات DICOM بالمستويات المحورية ، واسهمية ، والإكليلية ثم إنشاء نموذج افتراضي ثلاثي الأبعاد للمنطقة التشريحية. التقى الجراح ومهندس الشركة المصنعة لمناقشة شكل التصميم وأي تعديلات مطلوبة مع تحديد مناطق توضع براغي التيتانيوم الخاصة بتهيئة الزرعة الوجهية ، ومن ثم تم إرسال التصميم النهائي إلى الجراح للموافقة عليه. تم تصدير النموذج الافتراضي النهائي للزرعة الوجهية كملف STL وإرساله إلى الطابعة ثلاثية الأبعاد ، والتي صنعت في النهاية الزرعة المخصصة للمريض.



الشكل (2) : خيوط peek الطبية



الشكل (1): الطابعة المستخدمة في الدراسة

الجدول (1) المواصفات التقنية للطابعة	
المواصفات التقنية	العامل المتغير
1	عدد فوهات البثق
0,4 mm	قطر الفوهة
1,75 mm	قطر الخيط أو الليف
تصل إلى 480 c°	درجة حرارة رأس الطباعة
تصل إلى 120 c°	درجة حرارة سرير الطباعة
370 x 400 x 400 mm	القياس ( طول h-عرض w – عمق d )

\_ الطابعة المستخدمة في دراستنا ( الشكل 1 ) : هي نموذج أولي من PEEK 3D PrinterOo-kuma Katna HT

- PEEK 3D PrinterOo-kuma Katna HT
- Build Volume 200 × 200 × 185 mm
- Country Turkey
- Features WiFi, touchscreen

تستخدم الطابعة تحكم Apium للبرمجيات (ACS) و منسق ملفات مع 65 عامل متغير قابل للتعديل باستخدام نمط التغطية القياسية (SLT).

#### 4 عملية الطباعة:

✓ تبدأ بنموذج ثلاثي الأبعاد مصمم بمساعدة الحاسوب (CAD) للزرعة و يتم تصديره كملف SLT من برنامج السوفت وير للتصميم CAD حيث يُسَرَّح ملف الـ SLT بواسطة برنامج التحليل الحاسوبي إلى طبقات أفقية بارتفاع الطبقات المحدد في آلة الطباعة ثلاثية الأبعاد.

✓ ليف مكيف على شكل حبل يُدخل إلى الآلة عبر أنبوب التغذية و تتبثق المواد المنصهرة حرارياً عبر فوهة واحدة (بقطر 0,4 mm ، متحكم بها حاسوبياً ) و تُرسَّب طبقة تلو الأخرى باتباع النمط أو النموذج المحدد .

✓ تتبع الفوهة نموذج خطوط المسح في خطة x , y و تشكل طبقة ، لاحقاً : يتم الانتهاء من توضع الطبقة ثم ينخفض سرير العمل في اتجاه Z و يتم بثق الطبقة الجديدة .

✓ تدرج البنى الداعمة أو الهياكل مع الهندسة التشريحية المعقدة و العنصر ثلاثي الأبعاد متضمناً البنى الداعمة حيث تتم طباعته الطبقة تلو الأخرى بحيث تندمج الطبقات معاً .

✓ يتم وضع مثبت خاص (DimaFix, DIMA 3D, Valladolid, Spain) يطبق على شكل رذاذ إلى سرير الطباعة البارد لتأمين الالتصاق قبل الطباعة .

✓ تكون الغرفة بأكملها مغلقة بحيث تكون درجة حرارة سرير الطباعة الموصى بها حوالي 100 درجة مئوية و درجة حرارة الطباعة يمكن أن تصل إلى 400 درجة مئوية .

تم تصنيع الزرعة الوجهية النهائية من مادة peek (vestakep filament) باستخدام طباعة ثلاثية ابعاد من نوع PEEK 3D PrinterOo-kuma Katna HT ، حيث تُنتج ألياف البولي ايثير ايثر كيتون لعملية الطباعة

Evonik Industries : الشركة المصنعة : 450 APIUM PEEK ألياف طبيعية 1,75mm من الدرجة الطبية (الشركة المصنعة : AG, Germany ( الشكل 2) . هذا الخيط عبارة عن بوليمير نصف بلوري بكثافة 1,30 g/cm<sup>3</sup> و قوّة شد 97mpa . مع مقاومة كيميائية ممتازة ، إنّه مزيج مثالي من القوّة و الصلابة و المتانة ، بالإضافة إلى أنّه متوافق جداً

مع أشعة غاما و مستقر للغاية ضد الانحلال المائي و قابل للتعقيم. وبعد انتهاء عملية الطباخة يتم تعقيم الزرعة الوجهية بواسطة الاوتوكلاف ثم تغليف الزرعة .

تم إجراء الاعمال الجراحية للمرضى تحت التخدير العام في مستشفى تشرين الجامعي وفق المدخل الجراحي المناسب اعتمادًا على حجم العيب وموقعه، تم فحص الزرعة الوجهية للتأكد من ملاءمتها قبل التثبيت وأجريت التعديلات المطلوبة أثناء العملية ، وتم تثبيت PSI باستخدام ابراغي التيتانيوم ذات القياس 1.5 إلى 2.0، تلقى جميع المرضى جرعة أثناء العملية من 1.2g Augmentin غرام في الوريد و 0.5g Flagyl. وتلقى المرضى بعد الجراحة جرعتين من الأوغمنتين، وبعدها تم وصف الأوغمنتين 1 غ يومياً و فلاجيل 0.5 g عن طريق الفم لمدة اسبوع . وتمت متابعتهم بانتظام بعد اسبوع و بعد شهر و بعد ثلاثة اشهر من الجراحة لتحري وجود علامات التهابية .

## النتائج و المناقشة :

### 1 وصف عينة البحث :

يبين الشكل الآتي توزيع عينة البحث حسب الجنس:



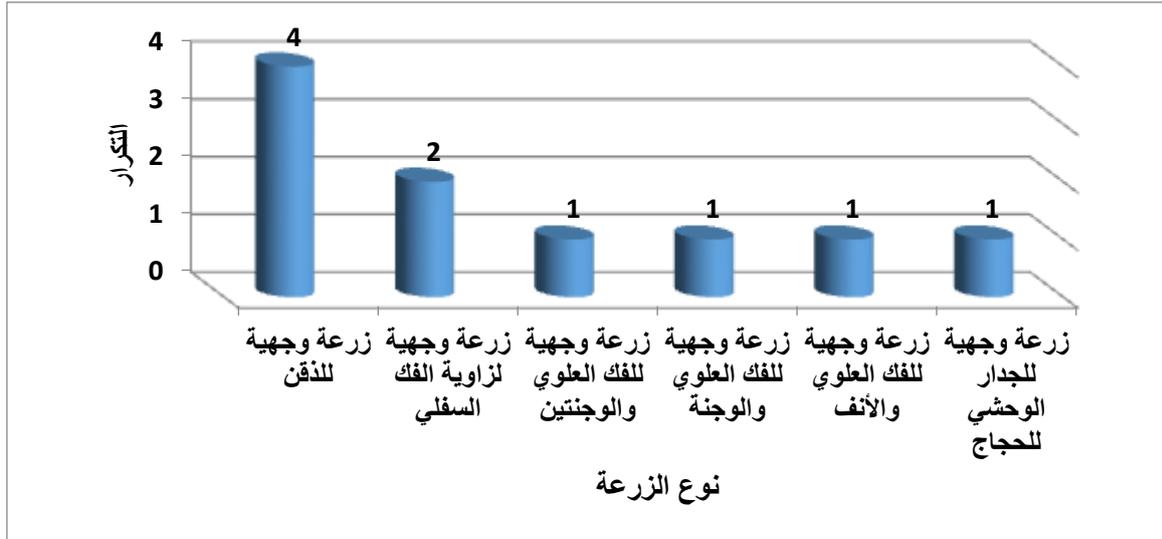
الشكل (3) توزيع عينة البحث حسب الجنس

حيث لوحظ أن غالبية العينة من الاناث بنسبة 70% مقابل 30% من الذكور. ويبين الجدول الآتي الإحصاءات الوصفية لأعمار المرضى:

الجدول (2) الاحصاءات الوصفية لعينة البحث

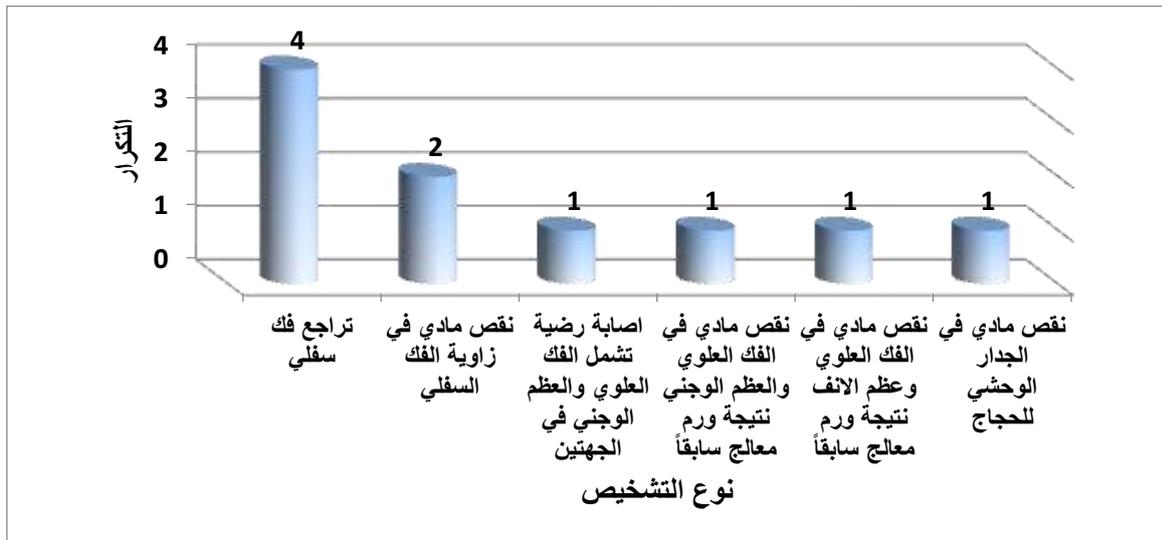
المتوسط	الانحراف المعياري	Min	Max
29	4.69	22	37

وبين الشكل (4) توزيع عينة البحث حسب الزرعة الوجهية المستخدمة حيث نلاحظ أن غالبية الزرعات كانت زرعة وجهية مخصصة للذقن بنسبة 40% و 20% منها زرعة وجهية لزاوية الفك السفلي و 10% لكل من الزرعات الأخرى.



الشكل (4) توزع عينة البحث حسب الزرعة الوجهية المستخدمة

وبين الشكل (5) توزع عينة البحث حسب التشخيص حيث نلاحظ أن غالبية التشخيصات كانت تراجع فك سفلي بنسبة 40% و 20% منها نقص نمو في زاوية الفك السفلي و 10% لكل من التشخيصات الأخرى.



الشكل (5) توزع عينة البحث حسب التشخيص

تم تقييم الانتان بعد أسبوع وشهر وثلاث أشهر كما هو موضح بالجدول الآتي:

الجدول (3) تقييم الانتان خلال فترات الدراسة

الانتان ( عدم وجود 0 ، وجود 1 )			الحالة
3 أشهر	شهر	أسبوع	
0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1
0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2
0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3
0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	4
0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5
1 (10%)	1 (10%)	0 (0%)	6
0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	7

0 (%0)	0 (%0)	0 (%0)	8
0 (%0)	0 (%0)	0 (%0)	9
0 (%0)	0 (%0)	0 (%0)	10

حيث لوحظ وجود حالة انتان واحدة بعد شهر لحالة زرعة ووجهية مخصصة للذقن و استمر الانتان لفترة المتابعة التالية

## 2 المناقشة :

خلال السنوات القليلة الماضية جذب الpeek الكثير من الاهتمام من قبل علماء المواد و جراحي العظام ،حيث أنه ملائم للاستخدامات الجراحية بسبب خصائصه الميكانيكية الحيوية المناسبة ، شفوفيته الشعاعية ،قابلية التصوير بالرنين المغناطيسي و الخمول الكيميائي [66]. في البداية تم استخدام peek في جراحة العمود الفقري لصناعة الصفائح بين الفقرية ، كما كان يستخدم peek كمزيج مع مواد أخرى مثل ألياف الكربون المقواة (cf/peek) لتنشيط الكسور و الأجزاء الصناعية (مثل مفصل الورك الصناعي) [67]. أجريت دراسات متنوعة باستخدام peek في ترميم العيوب الفكية الوجهية المعقدة ،كما أظهرت العيوب القحفية بعد الجراحة نتائج جمالية و وظيفية ممتازة دون أي مضاعفات [68,69,70] ، و بالتالي peek هو مادة حيوية مناسبة و مادة لينة ملائمة للجراحات الترميمية و العظمية. اعتمدنا في دراستنا على مادة ال PEEK في طباعة الزرعات الوجهية المصنعة خصيصا لكل مريض و أظهرت المتابعة السريرية وجود حالة انتانية واحدة لزرعة ووجهية مخصصة لمنطقة الذقن لم تستجب للعلاج بالصادات الحيوية مما دفعنا لإزالة الزرعة الفاشلة بنسبة فشل 10% . بينما لم تظهر الدراسة التي قام له بها العسيري و اخرون [71] وجود انتان في الدراسة التي قام بها عام 2020 و شملت ستة مرضى و استخدم ضمنها ثمانى زرعات من مادة ال PEEK كما اظهر المرضى مستوى رضى ممتاز عن نتائج الاعمال الجراحية . اظهرت الدراسة التي قام بها S. Järvinen و اخرون [72] و التي شملت 24 مريض معدل انتان 8.3% حيث شملت هذه الدراسة 24 مريض و تلقى جميع المرضى المضادات الحيوية عن طريق الحقن الوريدي. تم إعطاء سيفوروكسيم 1.5 غ في 20 حالة وفي أربع حالات تلقى المريض 500 ملغ إضافية من الميترونيدازول. تلقى ثلاثة مرضى الأمبيسلين 2 غ ومريض واحد الكلينداميسين 600 ملغ. في سبع حالات، تم غمر الطعوم الخاصة بالمريض في محلول مضاد حيوي قبل التركيب والتنشيط ( حالتين سيبروفلوكساسين وخمس حالات من السيفوروكسيم) . كما تم وصف المضادات الحيوية ل 21 مريض بعد العمل الجراحي لمدة 7-14 يوم. تم وصف سيفالكسين 500 ملغ في 10 حالات، سيفوروكسيم في حالة واحدة، فينوكسي ميثيل بنسلين 1 مليون وحدة دولية في 4 حالات، الكلينداميسين 300 ملغ في حالتين واموكسيسلين 500 ملغ في 4 حالات. اثتان من المرضى اللذين تعاطوا الأموكسيسلين قد وصف إليهم أيضاً ميترونيدازول 400 ملغ. في ثلاث حالات تلقى المرضى المضادات الحيوية لمدة يومين فقط بعد العمل الجراحي واعطي لهم سيفوروكسيم وريدي وميترونيدازول أثناء الإقامة في المستشفى. قام Alonso-Rodriguez و اخرون [73] بأجراء سلسلة من العمليات الجراحية ل 14 مريضاً تمت إعادة بناء عيوبهم القحفية الوجهية باستخدام جهاز كمبيوتر مصمم PEEK-PSI (بولي إيثير كيتون - غرسة خاصة بالمريض) ثم تحليل مضاعفات ونتائج غرسات PEEK المخصصة حيث ظهر وجود حالتان (14.3%) ظهرت عليهما العدوى وفي حالة واحدة فقط تم إزالة الغرسة نهائياً من دون وجود تفسير دقيق للانتان .

## الاستنتاجات والتوصيات

### الاستنتاجات:

يتم تطبيق مواد PEEK بشكل كبير في مختلف المجالات الجراحية والطبية في يومنا هذا. تعتبر الزرعات القائمة على PEEK بديلاً عن زرعات التيتانيوم والسيراميك في جراحات القحف والوجه والفكين وجراحة العظام التقويمية والعمود الفقري. باستخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد ، من الممكن تصنيع زرعة محددة وفردية مسبقاً تسمح بإعادة بناء دقيقة.

المادة المثالية لعيوب الوجه والفكين غير موجودة حتى الآن، لكن أظهر PEEK نتائج جيدة من الناحية الجمالية والوظيفية ، بمعدل مضاعفات مشابه لمعدلات المواد البلاستيكية الأخرى. نعتقد أنه عندما لا يكون العظم ذاتي المنشأ متوفر ، أو في حالات محددة بها عيوب كبيرة أو معقدة في منطقة الوجه والفكين ، فإن الطباعة ثلاثية الأبعاد باستخدام مادة ال PEEK هي واحدة من أفضل الخيارات لإعادة بناء هذه الأنواع من العيوب. ومع ذلك ، هناك حاجة إلى مزيد من الدراسات .

### التوصيات:

نوصي بإجراء أبحاث تشمل مادة البولي إيثير كيتون مع مواد الطباعة الأخرى المتقبلة حيويًا لإجراء مقارنات بينها من ناحية معدل حوث الانتان و مقارنة الكلفة المادية و معدل رضى الجراح و المريض .

## Reference

- 1.Gibbs DM, Vaezi M, Yang S, Oreffo RO. Hope versus hype: what can additive manufacturing realistically offer trauma and orthopedic surgery? *Regenerative Medicine*. 2014;9(4):535–49.
- 2.Canstein C, Cachot P, Faust A, Stalder A, Bock J, Frydrychowicz A, et al. 3D MR flow analysis in realistic rapid prototyping model systems of the thoracic aorta: comparison with in vivo data and computational fluid dynamics in identical vessel geometries. *Magnetic Resonance in Medicine*. 2008;59(3):535–46.
- 3.Hoy MB.3D printing: making things at the library. *Medical Reference Services Quarterly*. 2013;32(1):93–9.
- Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligk H, Zechmann CM, 4.Unterhinninghofen R, Kauczor H-U, et al. 3D printing based on imaging data: review of medical applications. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 2010;5(4):335–41.
- 5.Chae MP, Rozen WM, McMenamin PG, Findlay MW, Spychal RT, Hunter-Smith DJ. Emerging applications of bedside 3D printing in plastic surgery. *Frontiers in Surgery*. 2015;2:514 A *Textbook of Advanced Oral and Maxillofacial Surgery Volume 3*.
- 6.Mertz L. New world of 3-d printing offers “completely new ways of thinking”: q&a with author, engineer, and 3-d printing expert hod lipson. *IEEE Pulse*. 2013;4(6):12–4.
- 7.Ibrahim AM, Jose RR, Rabie AN, Gerstle TL, Lee BT, Lin SJ. Three-dimensional printing in developing countries. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*. 2015;3(7).
- 8.Chan HH, Siewerdsen JH, Vescan A, Daly MJ, Prisman E, Irish JC. 3D rapid prototyping for otolaryngology—head and neck surgery: applications in image-guidance, surgical simulation and patient-specific modeling. *PLoS One*. 2015;10(9):e0136370.

- 9.Mendez BM, Chiodo MV, Patel PA. Customized “In-Office” three-dimensional. for virtual surgical planning in craniofacial surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2015;26(5):1584–6.
- 10.Cunningham LL, Madsen MJ, Peterson G. Stereolithographic modeling technology applied to tumor resection. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2005;63(6):873–8.
- 11.Ali AB, Griffin MF, Butler PE. Three-dimensional printing surgical applications. *Eplasty*. 2015;15.
- 12.Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*. 2015;219(11):521–9.
- 13.Brix F, Hebbinghaus D, Meyer W. Verfahren und Vorrichtung für den Modellbau im Rahmen der orthopädischen und traumatologischen Operationsplanung. *Röntgenpraxis*. 1985;38:290–2.
- 14.Sinn DP, Cillo Jr JE, Miles BA. Stereolithography for craniofacial surgery. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2006;17(5):869–75.
- 15.Mankovich NJ, Cheeseman AM, Stoker NG. The display of three-dimensional anatomy with stereolithographic models. *Journal of Digital Imaging*. 1990;3(3):200–3.
- 16.Suomalainen A, Stoor P, Mesimäki K, Kontio RK. Rapid prototyping modelling in oral and maxillofacial surgery: a two year retrospective study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2015;7(5):e605.
- 17.Frühwald J, Schicho KA, Figl M, Benesch T, Watzinger F, Kainberger F. Accuracy of craniofacial measurements: computed tomography and three-dimensional computed tomography compared with stereolithographic models. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2008;19(1):22–6.
- 18.Mehra P, Miner J, D’Innocenzo R, Nadershah M. Use of 3-d stereolithographic models oral and maxillofacial surgery. *Journal of Maxillofacial and Oral Surgery*. 2011;10(1):6–13.
- 19.Eppley BL, Sadove AM. Computer-generated patient models for reconstruction of cranial and facial deformities. *Journal of Craniofacial Surgery*. 1998;9(6):548–56.
- 20.Chopra K, Gastman BR, Manson PN. Stereolithographic modeling in reconstructive surgery of the craniofacial skeleton after tumor resection. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2012;129(4):743e–5e.
- 21.Choi JW, Kim N. Clinical application of three-dimensional printing technology in craniofacial plastic surgery. *Archives of Plastic Surgery*. 2015;42(3):267–77.
- 22.Fisher JP, Dean D, Mikos AG. Photocrosslinking characteristics and mechanical properties of diethyl fumarate/poly (propylene fumarate) biomaterials. *Biomaterials*. 2002;23(22):4333–43.
- 23.Billiet T, Vandenhoute M, Schelfhout J, Van Vlierberghe S, Dubruel P. A review of trends and limitations in hydrogel-rapid prototyping for tissue engineering. *Biomaterials*. 2012;33(26):6020–41.
- 24.Hannen E. Recreating the original contour in tumor deformed mandibles for plate adapting. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2006;35(2):183–5.
- 25.Ono I, Gunji H, Suda K, Kaneko F. Method for preparing an exact-size model using helical volume scan computed tomography. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1994;93(7):1363.

26. Choi J-Y, Choi J-H, Kim N-K, Kim Y, Lee J-K, Kim M-K, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2002;31(1):23–32.
27. Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of Biological Engineering*. 2015;9(1):4.
28. Herlin C, Koppe M, Béziat J-L, Gleizal A. Rapid prototyping in craniofacial surgery: using a positioning guide after zygomatic osteotomy—a case report. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2011;39(5):376–9.
29. Krishnan S, Dawood A, Richards R, Henckel J, Hart A. A review of rapid prototyped surgical guides for patient-specific total knee replacement. *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume*. 2012;94(11):1457–61.
30. Flügge TV, Nelson K, Schmelzeisen R, Metzger MC. Three-dimensional plotting and printing of an implant drilling guide: simplifying guided implant surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013;71(8):1340–6.
31. Almquist TA, Smalley DR. Thermal stereolithography. Google Patents; 1996. - Lethaus B, Poort L, Böckmann R, Smeets R, Tolba R, Kessler P. Additive manufacturing for microvascular reconstruction of the mandible in 20 patients. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2012;40(1):43–6.
32. Poukens J, Haex J, Riediger D. The use of rapid prototyping in the preoperative planning of distraction osteogenesis of the cranio-maxillofacial skeleton. *Computer Aided Surgery*. 2003;8(3):146–54.
33. Fullerton JN, Frodsham GC, Day RM. 3D printing for the many, not the few. *Nature Biotechnology*. 2014;32(11):1086–7.
34. Mustafa S, Evans P, Bocca A, Patton D, Sugar A, Baxter P. Customized titanium reconstruction of post-traumatic orbital wall defects: a review of 22 cases. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2011;40(12):1357–62.
35. Kozakiewicz M, Elgalal M, Piotr L, Broniarczyk-Loba A, Stefanczyk L. Treatment with individual orbital wall implants in humans—1-year ophthalmologic evaluation. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2009;37(4):229–34.
36. Wolff J, Sándor GK, Pyysalo M, Miettinen A, Koivumäki A-V, Kainulainen VT. Late reconstruction of orbital and naso-orbital deformities. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. 2013;25(4):683–95.
37. Metzger MC, Hohlweg-Majert B, Schwarz U, Teschner M, Hammer B, Schmelzeisen R. Manufacturing splints for orthognathic surgery using a three-dimensional printer. *Oral Three-Dimensional Printing: A Novel Technology for Use in Oral and Maxillofacial Operations* <http://dx.doi.org/10.5772/63315> 519 *Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2008;105(2):e1–7.
38. Ciocca L, De Crescenzo F, Fantini M, Scotti R. Rehabilitation of the nose using CAD/CAM and rapid prototyping technology after ablative surgery of squamous cell carcinoma: a pilot clinical report. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2009;25(4):808–12.
39. Ciocca L, Scotti R. Oculo-facial rehabilitation after facial cancer removal: updated CAD/CAM procedures. A pilot study. *Prosthetics and Orthotics International*. 2013: 0309364613512368.
40. Xie P, Hu Z, Zhang X, Li X, Gao Z, Yuan D, et al. Application of 3-dimensional printing technology to construct an eye model for fundus viewing study. 2010.

41. Fantini M, De Crescenzo F, Ciocca L. Design and rapid manufacturing of anatomical prosthesis for facial rehabilitation. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. 2013;7(1):51–62.
42. Fowell C, Edmondson S, Martin T, Praveen P. Rapid prototyping and patient-specific pre-contoured reconstruction plate for comminuted fractures of the mandible. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2015;53(10):1035–7.
43. Lim KHA, Loo ZY, Goldie SJ, Adams JW, McMenamin PG. Use of 3D printed models in medical education: a randomized control trial comparing 3D prints versus cadaveric materials for learning external cardiac anatomy. *Anatomical Sciences Education*. 2015.
44. McMenamin PG, Quayle MR, McHenry CR, Adams JW. The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education*. 2014;7(6):479–86.
45. Lambrecht JT, Berndt D, Schumacher R, Zehnder M. Generation of three-dimensional prototype models based on cone beam computed tomography. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 2009;4(2):175–80.
46. Kalejs M, von Segesser LK. Rapid prototyping of compliant human aortic roots for assessment of valved stents. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*. 2009;8(2):182–6.
47. Malik HH, Darwood AR, Shaunak S, Kulatilake P, Abdulrahman A, Mulki O, et al. Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications. *Journal of Surgical Research*. 2015;199(2):512–22.
48. Fan JP, Tsui CP, Tang CY, Chow CL. Influence of interphase layer on the overall elasto-plastic behaviors of HA/PEEK biocomposite. *Biomaterials*. 2004;25:5363–73.
49. Green S. A polyaryletherketone biomaterial for use in medical implant applications. *Chem Artic News*. 2015;5:1–9.
50. Ferguson SJ, Visser JM, Polikeit A. The long-term mechanical integrity of non-reinforced PEEK-OPTIMA polymer for demanding spinal applications: experimental and finite-element analysis. *Eur Spine J*. 2006;15:149–56.
51. Bradley JSH, Hastings GW, Johnson-Nurse C. Carbon fibre reinforced epoxy as a high strength, low modulus material for internal fixation plates. *Biomaterials*. 1980;1:38–40.
52. Ha SW, Kirch M, Birchler F, Eckert KL, Mayer J, Wintermantel E, et al. Surface activation of polyetheretherketone (PEEK) and formation of calcium phosphate coatings by precipitation. *J Mater Sci Mater Med*. 1997;8:683–90.
53. Kizuki T, Matsushita T, Kokubo T. Apatite-forming PEEK with TiO<sub>2</sub> surface layer coating. *J Mater Sci Mater Med*. 2015;26:5359.
54. Lin TW, Corvelli AA, Frondoza CG, Roberts JC, Hungerford DS. Glass peek composite promotes proliferation and osteocalcin production of human osteoblastic cells. *J Biomed Mater Res*. 1997;36:137–44.
55. Scolozzi P, Martinez A, Jaques B. Complex orbito-fronto-temporal reconstruction using computer-designed PEEK implant. *J Craniofac Surg*. 2007;18:224–8.
56. Abu Bakar MS, Cheang P, Khor KA. Mechanical properties of injection molded hydroxyapatite polyetheretherketone biocomposites. *Compos Sci Technol*. 2003;63:421–5.
57. Wu X, Liu X, Wei J, Ma J, Deng F, Wei S. Nano-TiO<sub>2</sub>/PEEK bioactive composite as a bone substitute material: in vitro and in vivo studies. *Int J Nanomed*. 2012;7:1215–25.
58. Wang DH, Tanc JB, Tan LS. Grafting of vapor-grown carbon nanofibers (VGCNF) with a hyperbranched poly(ether-ketone). *Mater Sci Eng B*. 2006;132:103–7.

59. Morrison CMR, MacDonald C, Wykman A, Goldie I, Grant MH. In vitro biocompatibility testing of polymers for orthopaedic implants using cultured fibroblasts and osteoblasts. *Biomaterials*. 1995;16:987–92.
60. Hunter A, Archer CW, Walker PS, Blunn GW. Attachment and proliferation of osteoblasts and fibroblasts on biomaterials for orthopaedic use. *Biomaterials*. 1995;16:287–95.
61. Wang L, He S, Wu X, Liang S, Mu Z, Wei J, et al. Polyetheretherketone/nanofluorohydroxyapatite composite with antimicrobial activity and osseointegration properties. *Biomaterials*. 2014;35:6758–75.
62. Kim IY, Sugino A, Kikuta K, Ohtsuki C, Cho SB. Bioactive composites consisting of PEEK and calcium silicate powders. *J Biomater Appl*. 2009;24:105–18.
63. Goodsonb ML, Farr D, Keith D, Banks RJ. Use of two-piece polyetheretherketone (PEEK) implants in orbitozygomatic reconstruction. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2012;50:268–9.
64. Lethaus B, Safi Y, ter Laak-Poort M, Kloss-Brandstatter A, Banki F, Robbenmenke C, et al. Cranioplasty with customized titanium and PEEK implants in a mechanical stress model. *J Neurotrauma*. 2012;29:1077–83. *J Mater Sci: Mater Med (2016) 27:118 Page 9 of 11 118*
65. O'Reilly EB, Barnett S, Madden C, Welch B, Mickey B, Rozen S. Computed-tomography modeled polyether ether ketone (PEEK) implants in revision cranioplasty. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2015;68:329–38.
- Najeeb, Z. Khurshid, J. P. Matinlinna, F. Siddiqui, M. Z.66. Nassani, and K. Baroudi, "Nano modified Peek Dental Implants: Bioactive Composites and Surface Modification - A Review" *International Journal of Dentistry*, vol. 2015, Article ID 3817592015.
67. D. Williams, "Polyetheretherketone for long-term implantable devices," *Medical Device Technology*, vol. 19, pp. 10-11, 2008.
68. L. Eschbach, "Nonresorbable polymers in bone surgery," *Injury* vol. 31, supplement 4, pp. D22–D27, 2000.
69. P. Scolozzi, A. Martinez, and B. Jaques, "Complex orbitofronto temporal reconstruction using computer-designed PEEK implant," *The Journal of Craniofacial Surgery*, vol. 18, no. 1, pp. 224–228, 2007.
70. M. M. Kim, K. D. O. Boahene, and P. J. Byrne, "Use of customized polyetheretherketone (PEEK) implants in the reconstruction of complex maxillofacial defects," *JAMA Facial Plastic Surgery*, vol. 11, no. 1, pp. 53–57, 2009.
71. Alasserri and Ahmed Alasraj, Patient-specific implants for maxillofacial defects: challenges and solutions Nasser ; 2020 .
72. S. Järvinen a, J. Suojanen b, c, E. Kormi c, T. Wilkman a, A. Kiukkonen, , J. Leikola b, P. Stoor The use of patient specific polyetheretherketone implants for maxillofacial deformities, 75(5): 523e529, 2014 .
73. Alonso-Rodriguez E, Cebri\_an JL, Nieto MJ, Del Castillo JL, Hern\_andez-Godoy J, Burgue~no M: Polyetheretherketone custom-made implants for craniofacial defects: report of 14 cases and review of the literature. *J Craniomaxillofac Surg* 43(7): 1232e1238, 2015.