المنظمة الاسلامية للعلوم الطبية
THE ISLAMIC ORGANIZATION FOR MEDICAL SCIENCES

ندوة "الطباعة الحيوية.. الفرص والتحديات من منظور إسلامي"

Bioprinting: Opportunities and Challenges: Islamic Perspective

رئيس ندوة د.محمد أحمد الجارالله

رئيس المنظمة الإسلامية للعلوم الطبية- وزير الصحة الكويتي الأسبق

وضع الشعارات للجهات الراعية والمشاركة

الكويت 24-25 سبتمبر 2023م= 10-9 ربيع الأول 1445هـ

Website

Location

الفهرس

م	البيان	صفحة	
1	كلمة رئيس المنظمة	3	
2	من يحضر الندوة؟	5	
3	محاور الندوة	5	
4	مقدمة حول الطباعة الحيوية	6	
5	تعريفات	6	
6	الأهمية	8	
7	نماذج ناجحة لطباعة الأعضاء	19	
8	التحديات والضوابط	32	
9	التقنية الهندسية	32	
10	الصحية	33	
11	الأخلاقية والشرعية	34	
12	القانونية	35	
13	الاجتماعية	36	
14	مفاهيم: الاستنساخ- الخلايا الجذعية	36	
15	المصادر	38	

كلمة رئيس المنظمة

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته، وأهلًا وسهلًا بكم جميعًا.

أود أن أعبر عن سعادتي البالغة وشكري العميق لمساهمتكم في هذه الندوة الأولى من نوعها حول "الطباعة الحيوية "(Bioprinting) التي لم تصدر بعد بشأنها فتاوى شرعية من المجامع الفقهية، كما لم يتم إرساء قواعد قانونية تنظم استخدامها حتى الآن رغم أنها دخلت حيز التطبيق، ونجحت خطواتها الأولية على الحيوانات وعلى البشر، وإن كانت بحاجة ماسة للتطوير.

"الطباعة الحيوية" أو الطباعة البيولوجية هي عملية بيولوجية من الألف إلى الياء، وهي فرع متخصص من الطباعة الثلاثية الأبعاد، ونوع حديث من أنواع الطب التعويضي أو التجديدي regenerative medicine حيث تستعمل الطابعة الحبر الحيوي المكون من الخلايا والأنسجة الحية، بدلًا من وضع "حبر الأسمنت المسلح" المكون من البلاستيك أو المعدن، لبناء طبقات الهياكل الصناعية في حالة الطباعة الثلاثية الأبعاد. وتعد الطباعة الحيوية بتحقيق انفراجات كبيرة في عالم الطب، حيث تتيح لنا هذه التكنولوجيا القدرة على إنتاج (طباعة) أنسجة وأعضاء من الخلايا البشرية في المختبر بالشكل نفسه والوظيفة نفسها، كما تستخدم في علاج الأعضاء والخلايا والأنسجة المريضة، وتحسين الوظائف الحيوية للأجهزة وتعزيز القدرات الحيوية البشرية، الأمر الذي قد يسهم في إنقاذ حياة الملايين الذين يموتون خلال انتظارهم للمتبرعين بالأعضاء أو الأنسجة التي لا تغطي إلا أقل من 10 % من احتياجات الزرع. وجدير بالذكر أنه قد نجحت بالفعل التجارب البشرية في طباعة أجزاء من أنسجة الجلد وصوان الأذن الخارجية، وكذلك أجزاء صغيرة من نسيج الكبد، أما عن الطباعة الكاملة

للأعضاء فمازالت في بداية الطريق، ومع هذا فإن العلماء يعملون بجد لطباعتها، حيث تم طباعة قلب بشري كامل بحجم قلب الأرنب، ولكن مازال الطريق طويلًا حتى يتمكن العلماء من طباعته بالحجم الأصلي وإعداده لينبض بالكفاءة البشرية نفسها.

نجتمع معًا لتبادل الأفكار حول هذا الموضوع الملح والمثير، وتحدونا الرغبة في تقديم الرعاية الصحية الأفضل للمرضى، وهي مرشدنا الأساسي في استقبال التكنولوجيا الحديثة، ولكن مع هذه الفوائد العظيمة المتوقعة تأتي التحديات الكبيرة والمخاطر المتوقعة كذلك، ولهذا السبب نعقد هذه الندوة لنوازن بين الفرص والتحديات والتقنية الطبية من ناحية، والضوابط الأخلاقية والشرعية والقانونية من ناحية أخرى مما يمكن أن يعترض الطريق، لذا أدعوكم جميعًا للمشاركة الفعالة في النقاشات وتبادل الأفكار والخبرات والمعرفة.

وفي النهاية أكرر شكري لحضراتكم ولكل الإخوة والأخوات الذين أسهموا في الإعداد لهذه الندوة المهمة، ولكل من انضم إلينا في هذه الرحلة المثيرة والمعقدة، أتطلع بكل حماسة أن تنجح توصياتكم في استكشاف الفرص المتاحة، ومواجهة التحديات بحكمة وشجاعة، مع أهمية وضع خارطة الطريق والضوابط اللازمة لحفظ النفس البشرية وتقليل المضار وتعظيم المنافع للطباعة الحيوية.

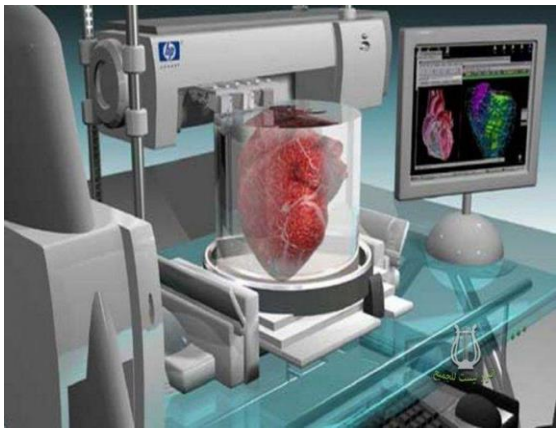
والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته

د.محمد الجارالله- رئيس المنظمة

وزير الصحة الكويتي الأسبق

من يحضر الندوة؟

- المتخصصون في مجال التكنولوجيا الحيوية من الأطباء والمهندسين.
- صناع السياسات والقادة المهتمون بطباعة الأعضاء الحيوية.
- الأطباء وجميع العاملين في الحقل الصحي
- رجال الدين من الفقهاء والدعاة.
- المستثمرون في المجال الطبي والهندسي.
- جمعيات دعم وإعانة المرضى.
- رجال الإعلام.
- الطلاب.



محاور الندوة

1. استعراض الأساس التكنولوجي للطباعة الحيوية مع الفرص المتاحة والمستقبلية.
2. توضيح البدائل الطبية لطباعة الأعضاء والعلاقة بينها.
3. مناقشة التحديات الصحية واقتراح الضوابط المناسبة.
4. التحديات والضوابط الشرعية وخاصة طباعة الأعضاء التناسلية مثل المبايض.
5. مناقشة التحديات والآثار القانونية والاجتماعية والضوابط المطلوبة.
6. التوصيات وإصدار وثيقة المنظمة.

الطباعة الثلاثية الأبعاد

هي واقع فعلي نراه أمام أعيننا، وفيها يتم استخدام الطابعات الحديثة لصنع أي مجسمات ثلاثية الأبعاد، مثل المنازل والسيارات وقطع الغيار في مختلف الصناعات، أو حتى العظام البشرية باستخدام المواد المناسبة للمبنى أو العضو. وعلى سبيل المثال تبدأ طباعة المنزل بتصميمه وعمل هيكل رقمي وملف إلكتروني للمنزل بكل تفاصيله الدقيقة بواسطة التطبيقات الهندسية الحديثة، ثم تقوم الطابعة بتحويل هذا الملف الرقمي إلى مجسم حقيقي، حيث تقوم بتعبئة الهيكل بطبقات متتالية من "حبر الأسمنت المسلح" وتستمر عملية طباعة الطبقات طبقة تلو الأخرى حتى يمتلئ الهيكل تمامًا ويماثل المنزل المطلوب بناؤه، هذا وقد شاهدنا بالفعل عديدًا من المنازل والفنادق الضخمة التي بنيت بهذه الطريقة، وجدير بالذكر أن الحبر يتكون من مواد البناء نفسها: الأسمنت والحديد والرمل والمياه، بعد دمجها بالنسب الهندسية المعترف بها علميًّا وبطريقة أدق من الطرق العادية.

الطباعة الحيوية (البيولوجية) (Bioprinting)

- الطباعة الحيوية هي عملية بيولوجية تمامًا من الألف إلى الياء، أي هي حي من حي، وتستخدم الخلايا البشرية للمريض نفسه، وهي تنتمي إلى الطب التجديدي أو التعويضي regenerative medicine، وهي نوع حديث متخصص من الطباعة الثلاثية الابعاد، ولكنها تستخدم "الحبر الحيوي"، بدلًا من "حبر الأسمنت المسلح" في حالة المباني، ولهذا يمكننا اعتبار الطباعة الحيوية منصة لتصنيع وطباعة الأعضاء البشرية لإنتاج الهياكل وخلايا الأنسجة الحية بما فيها من أوعية دموية دقيقة، وتستعمل الطابعة فيها "الحبر الحيوي" المكون من

الخلايا والأنسجة الحية، بدلًا من البلاستيك أو المعدن أو الأسمنت المسلح المستخدم لبناء الهياكل الصناعية، وننصح بمشاهدة هذا الفيديو المعبر.

- طباعة الخلايا الجذعية الحيوانية بشكل ثلاثي الأبعاد وباستخدام الحبر الحيوي - YouTube

قصة نجاح عربية

نجحت عملية طباعة لجزء من الجلد البشري لأحد المرضى في مستشفى القاسمي بالشارقة.

- بدأت عملية الطباعة بعمل تصميم رقمي وملف إلكتروني للجلد المطلوب زراعته بكل تفاصيلة الدقيقة بواسطة التطبيقات الهندسية الحديثة.

- تم تجهيز "الحبر الحيوي" بواسطة وهي أو جزء بسيط من خلايا جلد المريض نفسه، ثم تنمية الخلايا داخل حاضنات حديثة مجهزة داخل المختبر.

- تم تصميم هيكل للجلد المطلوب طباعته بواسطة رسم إلكتروني دقيق، وعمل ملف رقمي، وتم تحميله للطابعة التي قامت بتعبئة الهيكل بطبقات متتالية من "الحبر الحيوي"، حتى امتلأ تمامًا بما يماثل الجلد المطلوب زراعته.

- تم زرع الجلد البشري بدلًا من الجلد المفقود، رجاء مطالعة الفيديوهات المرفقة.

- لأول مرة في الشرق الأوسط الإمارات تطلق تقنية الطباعة الحيوية الرباعية الأبعاد (albayan.ae)

- صحيفة البيان :on Twitter وزارة الصحة ووقاية المجتمع تُطلق تقنية الطباعة الحيوية الرباعية الأبعاد لأول مرة في منطقة الشرق الأوسط# https://t.co/U07KcEhU18 البيان_القارئ_دائمًا https://t.co/1KzaqmbGd4" / Twitter

أهمية الطباعة الحيوية

تمثل الطباعة الحيوية ثورة في مجال الطب، حيث يمكن لها أن تسهم في علاج النقص الحاد في الأعضاء المتاحة للزرع، وتمكن الباحثين من اختبار العلاجات الجديدة بكفاءة أكبر، وغير ذلك من الفوائد الجمة، مثل:

- **تسهيل إجراء التجارب السريرية** والأبحاث الطبية على الأعضاء المطبوعة حيويًّا، مما قد يسهم في اكتشاف علاجات جديدة أو فهم آليات الأمراض بشكل أفضل.

- **تطوير أنواع جديدة من طرق التشخيص والعلاج**، حيث تستخدم في الأبحاث الطبية مثل العلاجات التجديدية، واختبار الأدوية، والموديلات المرضية، وهو ما يمكن الباحثين من دراسة سبل الوقاية من الأمراض وفهم آلياتها وتطوير علاجات فعالة وأكثر دقة.

- **تقليل تجارب الأدوية على الحيوانات..** يمكن استخدام الأنسجة المطبوعة لاختبار فعالية الأدوية وسلامتها على الأنسجة البشرية بدقة أكبر، ودون الحاجة إلى تجارب على الحيوانات.

- **تصميم أعضاء وأنسجة مخصصة** لكل مريض بناءً على حاجاته الفردية وطبيعته الجينية والفسيولوجية، وحجم وشكل وخصائص تناسب مرضى معينين، مما يحسن من فعالية العلاج ويقلل من آثاره الجانبية.

- **معالجة الندرة الحادة في الأعضاء البشرية**، وهي مشكلة صحية عالمية خطيرة، حيث يوجد أكثر من 100 مليون شخص في جميع أنحاء العالم يعانون من فشل الأعضاء، وأكثر من 10 ملايين شخص ينتظرون عملية زرع كل عام، ولهذا تحذر المصادر العالمية من الندرة الشديدة في الأعضاء المتوافرة للزرع، حيث يمكنها أن تغطي أقل من 10 % فقط من الاحتياجات.

- **تقليل الحاجة إلى عمليات الزرع، مع تقليل انتظار المرضى** على قوائم الزرع، مما قد يستغرق سنوات طويلة ويزيد من خطر وفاتهم أو تدهور حالتهم.

- **تقليل رفض الجسم للأعضاء المزروعة**، وهو مشكلة عالمية شائعة، تمنع التبرع بسبب مقاومة الجسم لأنسجة المتبرع.
- **تقليل استخدام الأدوية المثبطة للمناعة الباهظة التكلفة**، وقد تسبب آثارًا جانبية خطيرة على المدى الطويل، مثل ضعف المناعة والإصابة بالأمراض المزمنة أو المعدية.

- **إمكانية تحسين نوعية وصفات الأعضاء البشرية وصفاتها وقدراتها**.

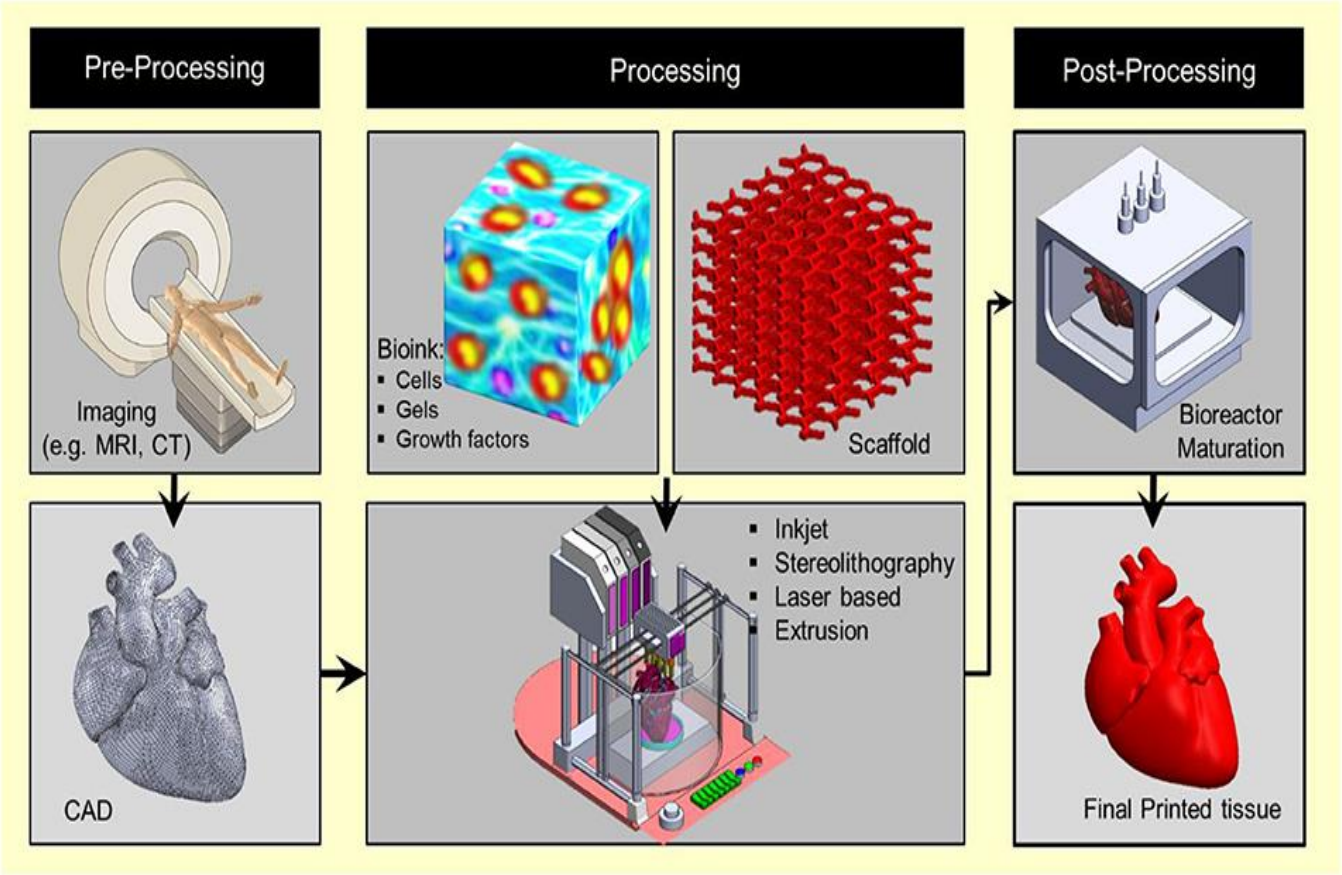
- **تقليل خطر حدوث عدوى أو مضاعفات** ناتجة عن زرع أعضاء من متبرعين آخرين، مثل الالتهابات الفيروسية أو البكتيرية أو الفطرية، أو ردود الفعل المناعية ضد الأنسجة الغريبة، أو السرطانات الناتجة عن خلايا متحولة.

- **تحسين جودة حياة المرضى** الذين يعانون من فشل أو تلف في أحد أعضائهم، مثل الكلى أو القلب أو الكبد أو الجلد، والذين يحتاجون إلى زرع عضو جديد لإنقاذ حياتهم أو تخفيف آلامهم.

- **تقليل الفجوة بين الدول الغنية والفقيرة** وبين الطبقات الاجتماعية في الدولة نفسها، حول القدرة على زراعة الأعضاء.
- **اعتبارها بديلًا شرعيًّا لعملية** تجارة وسرقة الأعضاء البشرية،
- **توجد علاقة إيجابية وطيدة بين طباعة الأعضاء وزراعتها**، حيث إن طباعة الأعضاء:
    - توفر أعدادًا كبيرة من الأعضاء البشرية (مستقبلًا) لمن هم في حاجة لزراعتها، بدلًا من انتظار قوائم الانتظار لسنوات طويلة.
    - زيادة فرص نجاح الزراعة بمنع الرفض المناعي، لأن العضو المزروع من المريض نفسه.

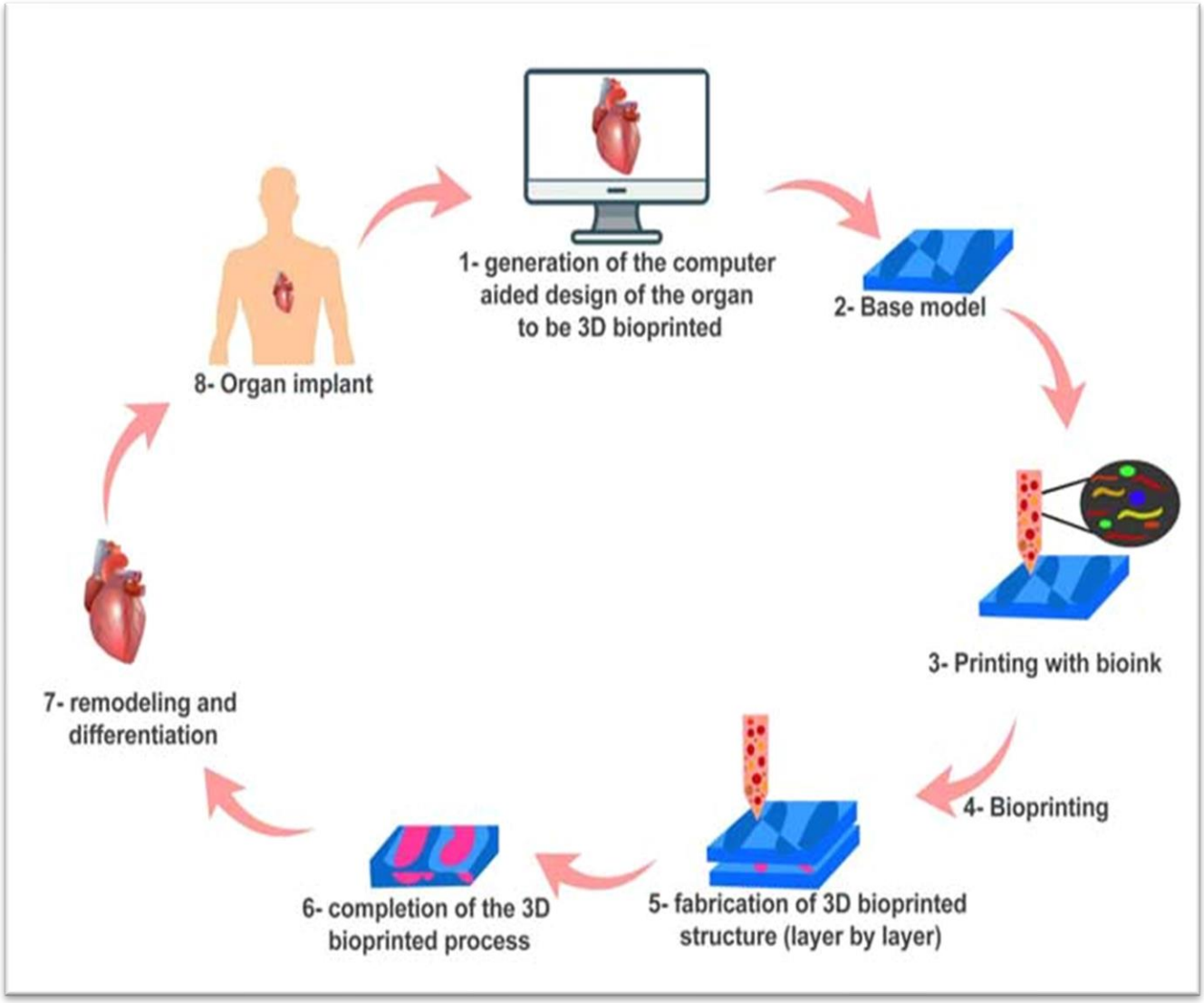
خطوات طباعة الأنسجة والأعضاء بالتفصيل

الإعداد والتجهيز　　الطباعة　　النمو والمتابعة



ثلاث مراحل أساسية لزراعة الأعضاء

من المجلة الشهيرة Nature



تفاصيل خطوات الطباعة الحيوية

رجاء مشاهدة الفيديو الطباعة الثلاثية البعد للأعضاء.. كيف تتم؟ وهل في وسع المريض تحمل كلفتها؟ - CNN Arabic **بها فيديو قصير مهم جدًّا جدًّا**

ثلاث مراحل رئيسية للطباعة الحيوية

أولًا: مرحلة التجهيز (تصميم الهيكل وتصنيع الحبر الحيوي وتنمية الخلايا)

رجاء مطالعة الفيديو المعبر

1. الطباعة الحيوية- اطبع كبدك- وداعًا لانتظار المانحينYouTube -

   5 دقائق باللغة العربية، منذ عامين.

   طباعة الخلايا الجذعية الحيوانية بشكل ثلاثي الأبعاد وباستخدام الحبر الحيويYouTube -

2. How to 3D print human tissue - Taneka Jones - YouTube

   ، 5 دقائق، تابع للمنصة الشهيرة TED

- **اختيار الخلايا من العضو نفسه أو من الخلايا الجذعية** للمريض التى لديها القدرة على تحويل نفسها ووظيفتها طبقًا لوظيفة العضو المراد طباعته.
- **استخراج الخلايا ب وهي** (أو جزء من الأنسجة حوالي 2 سم).
- **يتم فصل وعزل الخلايا** والتأكد من جودتها وملاءمتها للاستخدام.
- **زرع الخلايا في حاضنة متقدمة بالمختبر في** بيئة تدعم نموها وتكاثرها، وقد تستغرق شهورًا أو أسابيع حتى يتم تنمية القدر الكافي من الخلايا لزراعة عضو كامل.
- **تحضير الحبر الحيوي**، وهو من أهم الخطوات، ويتم عبر خلط الخلايا الحية والنسيج مع الهيدروجيل والجيلاتين لتصبح الخلايا صلبة فيما بعد (سنتحدث عنها بالتفصيل لاحقًا).
- **حاضنات وبيئة متخصصة لكل عضو**: التحدي الأكبر هو اختيار الطابعة نفسها، والأحبار الحيوية، والمواد والتغذية والأوكسجين، ومزجها بطريقة تتناسب مع الوظائف الحيوية للعضو المراد طباعته.

- **تصميم العضو المطلوب طباعته**: يتم تصميم نموذج حيوي ثلاثي الأبعاد مشابه تمامًا للعضو الأصلي وبأبعاده نفسها، بواسطة الأشعة المقطعية والمغناطيسية الدقيقة، وبرامج الكمبيوتر المتطورة.
- **تصوير العضو أو النسيج** بدقة وبالتفصيل، بالرنين المغناطيسي(MRI) و CT
- **دراسة هيكل العضو ووظائفه** وتفاعلاته داخل الجسم.

ثانيًا: مرحلة الطباعة

يتم تحميل الحبر الحيوي في خرطوشة واحدة أو أكثر، ثم يتم ضخه إلى رأس الطابعة لتقذفه داخل الهيكل لتعبئته وبناء النسيج الحيوي طبقة تلو الأخرى، كما يلي:

- اختيار الحبر الحيوي والطابعة والأدوات التي تتوافق مع وظيفة العضو.
- تحميل الحبر الحيوي داخل الطابعة والاستعداد لطباعة العضو داخل هيكله.
- يتم ضخ الحبر الحيوي داخل الهيكل أو القالب لطباعة طبقة تلو الأخرى، حتى يكتمل بناء العضو داخل الهيكل.
- تتم مراقبة عملية الطباعة لضمان الدقة وتشكيل الهيكل أو القالب بشكل ودقة وأبعاد العضو المطلوب، وهي عملية فنية مهمة ومعقدة.
- يعد تكامل العضو المطور مع جسم الإنسان تحديًا يستغرق بعض الوقت حتى يتدفق الدم والغذاء وتكتسب الخلايا والحبر المزروع داخل القالب وظيفته الأصلية.
- تستغرق العملية برمتها حوالي 10 إلى 48 ساعة، اعتمادًا على وظيفة وحجم العضو المراد تطويره أو طباعته، فمثلًا يستغرق غضروف الركبة وقتًا أقل من خلايا المريء أو الكبد، ومن أصعبها خلايا القلب.

- غالبًا ما تستغرق عملية الطباعة بأكملها من لحظة أخذ الخزعة إلى الزرع حوالي أربعة إلى ستة أسابيع.

ثالثًا: مرحلة ما بعد الطباعة (نضج العضو ليصبح قابلًا لزراعته)

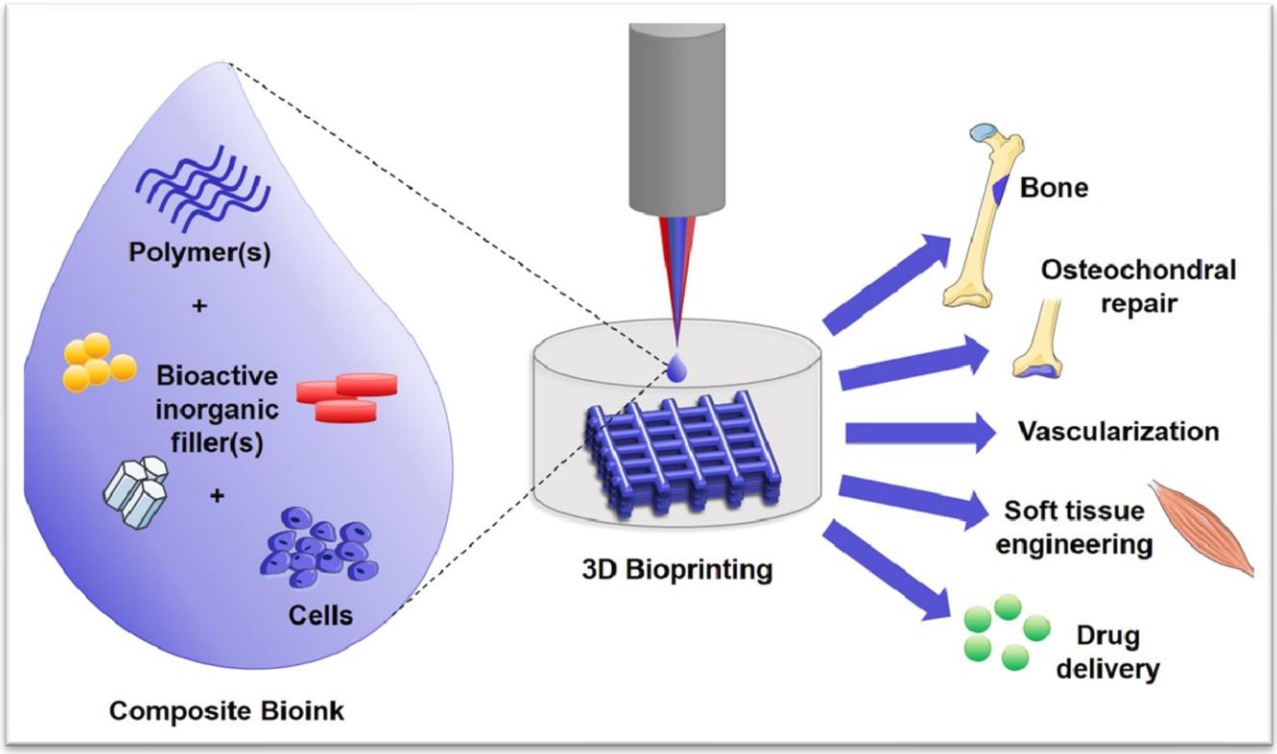
- يوضع العضو المطبوع لينضج داخل حاضنة حيوية وبيئة بدرجة حرارة ورطوبة وتغذية وظروف تحاكي الظروف داخل الجسم البشري تمامًا، ليصبح العضو ملائمًا وظيفيًّا.
- مراقبة ورصد نمو الخلايا وتمايزها داخل الحاضنة، حتى تنمو وتتكاثر وتستقر وتتصلب بمرور الوقت، وتصبح أنسجة حية مرة أخرى، وقد تستغرق هذه العملية بضعة أسابيع أو شهور.

- إزالة المواد الداعمة أو الهيكل، إن وجدت.
- التحقق الوظيفي من الهيكل المطبوع لمقارنته بالهيكل الفيزيائي والوظيفة.

رابعًا: مرحلة زراعة الأعضاء بواسطة الفريق الجراحي المدرب

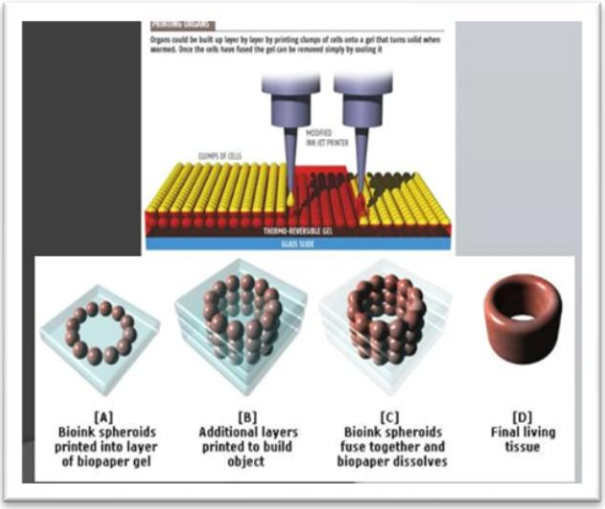
- **التحضير للزراعة**: إعداد المريض وفريق الجراحة لإجراء عملية الزرع.
- **الزراعة:** زراعة العضو في الجسم دون الخوف من مشاكل الرفض المناعى.
- **مراقبة العضو المزروع** بصورة مستمرة لضمان عمله الوظيفي.

رسم يوضح مكونات الحبر الحيوي ومراحل الطباعة



تصنيع الحبر الحيوي

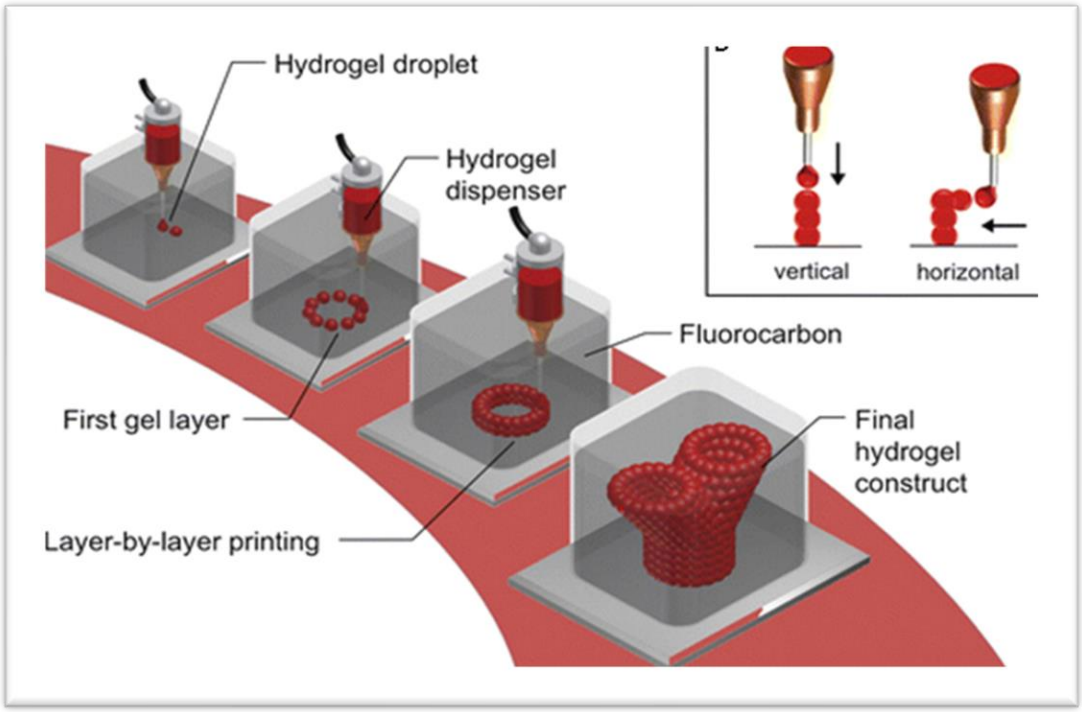
يعد تصنيع الحبر الحيوي المناسب خطوة حاسمة، بل الخطوة الأهم في تصنيع وطباعة الأنسجة الحية، حيث يجب اختيار الخلايا التي تتميز بالخصائص الميكانيكية والكيميائية والبيولوجية للعضو الأصلي، ويتكون الحبر الحيوي من عناصر أساسية:



- **الخلايا الحية** التي تشكل النسيج الحي للعضو المراد طباعته، وتستخرج من نفس العضو أو من خلايا جذعية أحيانًا، بحيث تكون قادرة على النمو والتكاثر.

ويتم أخذها عن طريق خزعة صغيرة أو بعملية العزل الخلوي، ثم تتم عملية الغسيل والطحن والفلترة للتخلص من الخلايا الميتة والبروتينات الزائدة وغيرها من المواد التي لا يُرغب فيها.

- **جزيئات الجيلاتين** التي تُقدم الدعم اللازم للخلايا في مرحلة النمو وتمكنها من الالتصاق والنمو والتوسع مع توفير القوام الصحيح للطباعة الثلاثية الأبعاد.
- **الهيدروجيل** الذي يقدم البيئة المشابهة للبيئة البشرية بما تتضمنه من حرارة وأوكسجين وتغذية ملائمة لوظيفة العضو، حتى تضمن النمو والتكاثر.



-

تتم طباعة النسيج طبقة ثم تتلوها طبقة... وهكذا

أمثلة بشرية ناجحة للطباعة الحيوية

حدث تقدم مثير خلال السنوات الأخيرة في الطباعة الحيوية، حيث نجحت بالفعل عديد من التجارب الحيوانية والبشرية لطباعة أجزاء من النسيج الحي، مثل الجلد، كما سبق، ومع هذا مازالت التقنية في مراحلها المبكرة، ولم يتم طباعة أعضاء بشرية

كاملة (باستثناء طباعة قلب بشرى بحجم قلب الأرنب، وسوف نتحدث عنه بالتفصيل فيما بعد)، وما زالت الطباعة الحيوية تتطلب كثيرًا من البحث والتطوير حتى تستخدم على نطاق واسع وليس التجارب الإكلينيكية فقط، وما زلنا بانتظار موافقات الوكالة الأمريكية FDA أو الاتحاد الأوروبي على طباعة أعضاء كاملة للاستخدام الإكلينيكي، وليس لتجربة الأدوية فقط، بعد أن تمت الموافقة على استخدام بعض الأنسجة المطبوعة للبحث العلمي وتطوير الأدوية، مثل الموافقة على أنسجة الكبد التي طورتهاOrganovo .

ومن أهم الأمثلة الناجحة

طباعة عديد من الأنسجة الحية وأجزاء من أعضاء الجسم البشري، ومن أهمها: الجلد، القرنية، البنكرياس، الرئتين، القلب، وبعض أنسجة الجهاز التناسلي، مثل الرحم والمبيض... إلخ.

أولًا طباعة الجلد

أحد أكثر الأعضاء طلبًا للزراعة، خاصة لمرضى الحروق أو الجروح المزمنة.

- **لأول مرة في الشرق الأوسط تطلق الإمارات تقنية الطباعة الحيوية الرباعية الأبعاد،** حيث أشاد معالي وزير الصحة الإماراتي بكفاءة الطاقم الطبي بمستشفى القاسمي بالشارقة الذي شهد إجراء أول عملية من نوعها في المنطقة لأحد مرضى الجروح المزمنة باستخدام جهاز الطباعة الحيوية الثلاثية الأبعاد، بفريق طبي إماراتي يقوده الدكتور صقر المعلا، رئيس قسم التجميل والترميم والحروق.

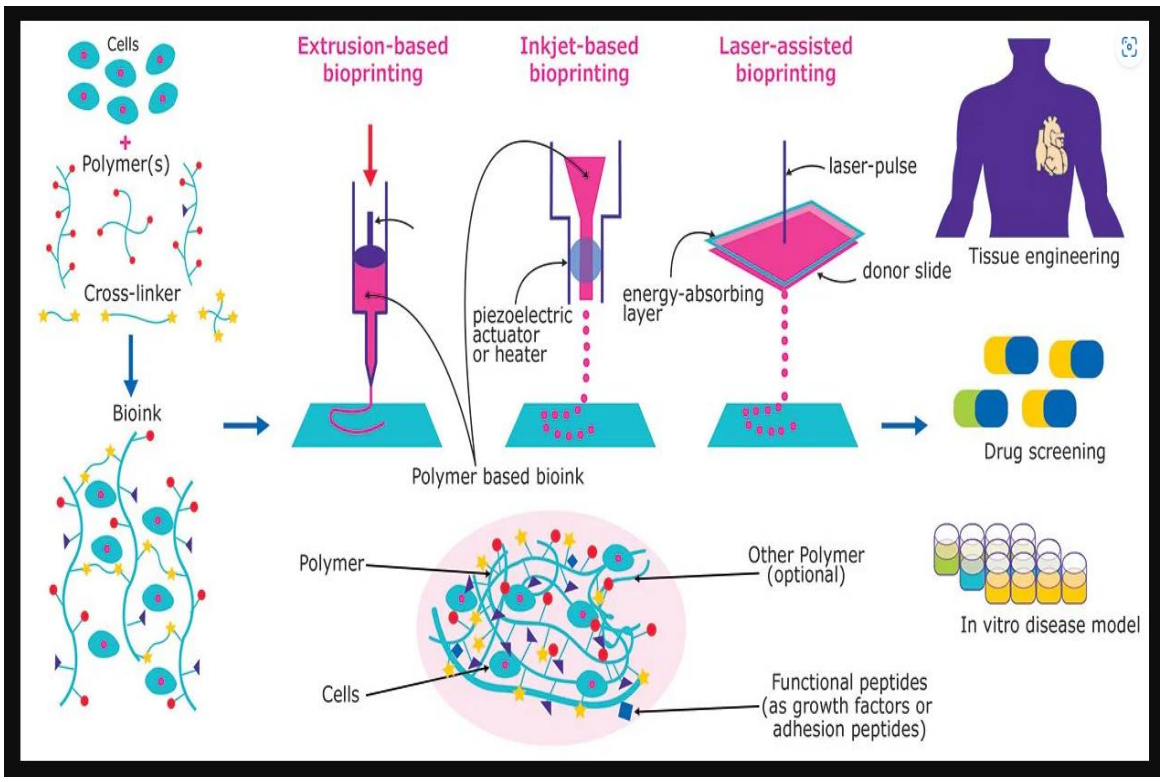
وأوضح الدكتور السركال أن الوزارة **ستطلق أول مركز للتميز والتدريب** للأطباء في منطقة الشرق الأوسط في مستشفيات الوزارة، مما يتيح تدريب عدد كبير من الأطباء لاستخدام التكنولوجيا في بلدان المنطقة.

وحول تفاصيل الطباعة قال الدكتور صقر المعلا إن الجهاز المبتكر يقوم باستخلاص الخلايا من الأنسجة الدهنية ومعالجتها، وبعد استخدام تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد يثبت الطبيب الرقعة الجلدية لتغطية الجرح، وأوضح أن مدة العملية لا تتجاوز 45 دقيقة ولا يحتاج مريض القدم السكري لإجراء العملية أكثر من مرة واحدة، كما أن معدل التئام الجروح يتم في غضون أسبوعين إلى 4 أسابيع، على عكس الطرق المستخدمة حاليًّا والتي تمتد أحيانًا إلى 6 أشهر، وبعدها باستطاعة المريض ممارسة حياته بشكل طبيعي، ولم يتم حتى الآن تسجيل أي أعراض جانبية أو مضاعفات ما بعد العملية.

ونوه إلى أن تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد تم إدخالها في مستشفى القاسمي منذ عام 2016 في جراحة التجميل والإصابات والحوادث والأورام والتشوهات التي تصيب الوجه والرقبة، إضافة إلى الأطراف الاصطناعية. (فيديو حول العملية الرابط مع المصادر).

- **في جامعة تورونتو** تم استخدام طابعة حيوية ثلاثية الأبعاد لإنشاء بشرة اصطناعية من خلايا جلدية بشرية، ويمكن أن تستخدم لتغطية الجروح.
- **الشركة الفرنسية 2020Poietis** طورت تقنية طباعة ثلاثية الأبعاد بالليزر للجلد البشري وأنسجة أخرى، هذه التقنية تتيح للعلماء إنشاء أنسجة حية بدقة عالية ويطلق عليها Poieskin، وقد تمت الموافقة على استخدامها للتجربة البشرية.

- **ثانيًا: الكبد الصغير** في عام 2020، قامت شركة Organovo الأمريكية بتطوير تقنية طباعة D 3 للكبد، لكن هذه الأجزاء الصغيرة من الكبد ليست جاهزة بعد لزراعة البشر، وتستخدم حاليًّا في اختبار الأدوية، وقد استخدمت النموذج NovoGen Bioprinter® Platform، وحصلت على موافقة الـ FDA لإجراء التجارب الإكلينيكية.



أهم أنواع الطابعات الحيوية

- حصل فريق WFIRM على المركزين الأول والثاني في تحدي الأنسجة الوعائية بوكالة الفضاء الأمريكيةNASA ، وذلك بإنشاء أنسجة كبد باستخدام طريقتين مختلفتين للطباعة الثلاثية الأبعاد للأحياء(2021) .

- **ثالثًا: الأذن الخارجية**: تم استخدام طابعات حيوية ثلاثية الأبعاد لإنشاء أذن اصطناعية من خلايا غضروفية بشرية، لتحسين مظهر أو وظيفة الأذن لمرضى التشوهات الخلقية أو الإصابات، وقد نجح بالفعل استخدام الأذن الخارجية المطلوبة في علاج عيب خلقي لفتاة، واستطاعت بعدها السمع company 3DBio Therapeutics

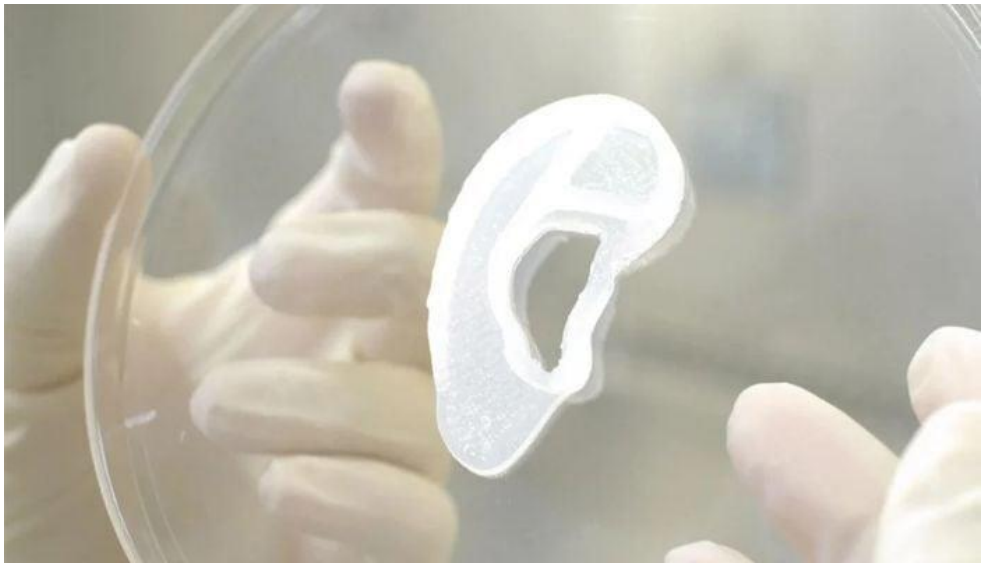


Photo credit: 3DBio Therapeutics

رابعًا: طباعة قرنية

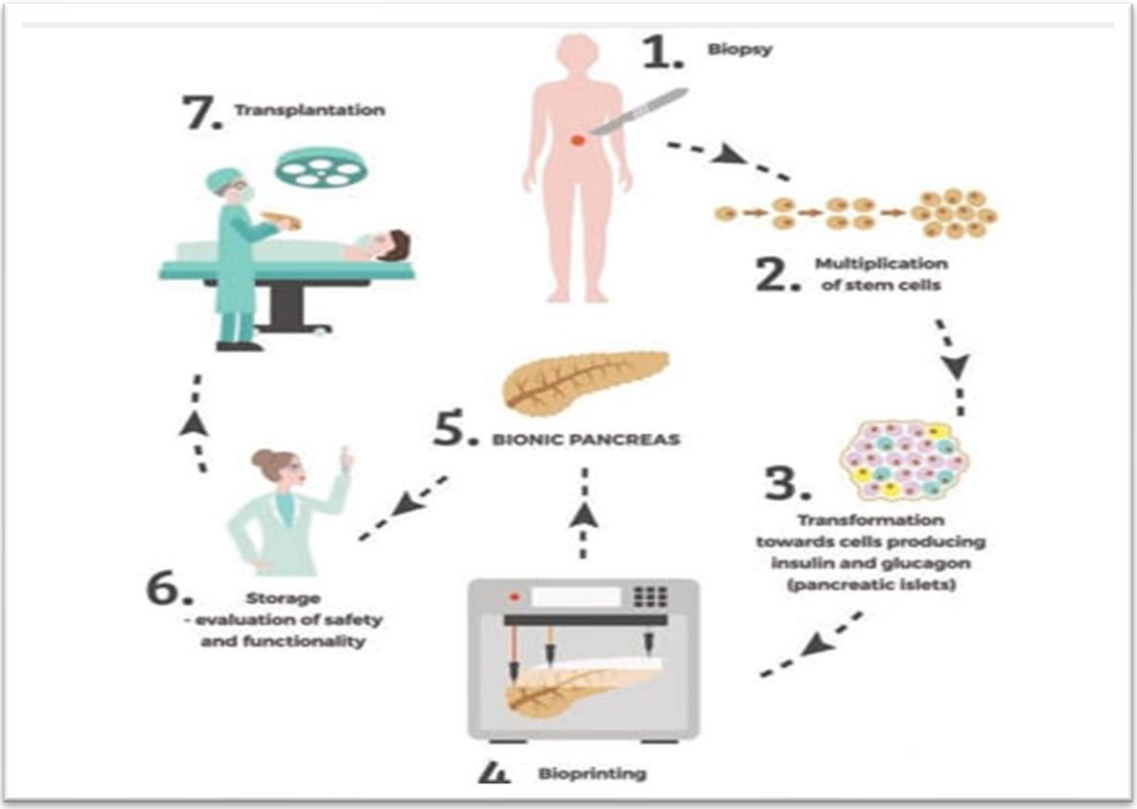
تمكن علماء بجامعة نيوكاسل في المملكة المتحدة من الحصول على قرنية عبر الطباعة الثلاثية الأبعاد، في خطوة يؤمل أن تساعد في سد النقص الذي تعانيه زراعة الأعضاء، حيث يوجد حاليًّا نحو عشرة ملايين شخص عالميًّا يحتاجون إلى عمليات جراحية لمنع العمى الناجم عن مشكلة في القرنية، وباستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد تم حقن هذا الحبر

الحيوي لتشكيل قرنية صناعية، ونشر الباحثون الدراسة الطبية في مجلة أبحاث العين التجريبية.

وجدير بالذكر أن طباعة بناء القرنيات يمكن أن تكون أول تطبيق حقيقي ورئيسي للطباعة الحيوية، ويرجع ذلك إلى أن القرنيات لديها بنية هيكلية على شكل طبقات بعضها فوق بعض، وهي بذلك تتناسب مع طريقة عمل الطابعة الثلاثية الأبعاد، وهذه الطبقات لا تحتوي على أية أوعية دموية أو أعصاب، مما يسهل المهمة، كما أن زراعة هيكل حيوي جديد في العين هو بطبيعته أكثر أمانًا من زراعة هيكل حيوي في أعماق الجسم، حيث يمكن للأطباء التحقق بسهولة من نجاح العملية أو حدوث أي مضاعفات.

خامسًا: علاج السكرى والبنكرياس

أعلنت شركة بولبيونيكا البولندية أن فريقها العلمي يعمل على إنتاج بنكرياس إلكتروني يحتوي على نظام وعائي كامل باستخدام الطابعة الحيوية، وتستهدف الشركة إنتاج بنكرياس حسب الطلب، ليس فقط حلًا لنقص الأعضاء الذي يزداد سوءًا حول العالم، ولكن لمنع تطوّر المضاعفات لدى الأشخاص الذين يعانون من مرض السكري، مع تقليل نفقات الرعاية الصحية.



سادسًا العظام والغضاريف: في جامعة كوينزلاند في أستراليا، تم إنتاج نسيج عظمي وغضروفي قابل للزرع.

1. **الغضروف**: عام 2016، قام باحثون في جامعة ماريلاند بتطوير طريقة لطباعة الغضروف الثلاثي الأبعاد للاستخدام في الجراحة التقويمية والعلاجات الإصلاحية للمفاصل.

1. **العظام**: في عام 2020، قامت شركة Aspect Biosystems الكندية بتطوير نماذج طباعة ثلاثية الأبعاد للعظام للاستخدام في التجارب السريرية، ويهدف البحث إلى استخدام هذه النماذج لاختبار الأدوية وتطوير علاجات جديدة لأمراض العظام.

سابعًا: الرئة البشرية

طبع العلماء بجامعة كاليفورنيا في عام 2020 جزءًا من الرئة البشرية لأول مرة، وتم تصميم النموذج لدراسة كيفية انتشار فيروس كورونا المستجد (COVID-19) في الرئتين.

ثامنًا: الأوعية الدموية في عام 2019 أعلن باحثون من الجامعة السويسرية الاتحادية في زيوريخ عن طباعة نموذج للأوعية الدموية الصغيرة، والهدف من هذا البحث هو تطوير طرق لطباعة الأعضاء البشرية التي تتضمن شبكة معقدة من الأوعية الدموية لاستخدامها في التجارب السريرية.

تاسعًا: طباعة القلب

- قام المركز العالمي الأشهر في الطباعة الحيوية WFIRM بالإعلان عن نجاحه في طباعة نسيج حيوي لقلب بشري، وقد نجحت أنسجة القلب في الانقباض والانبساط، وتمت تجربة الأدوية عليه، خاصة الأدرينالين.
- أعلنت مختبرات هارفارد لويس أنها نجحت في طباعة نسيج حيوي للقلب أيضًا لتجربة الأدوية.
- أعلنت شركة بيوفيلد عن نجاحها في طباعة قلب صغير، وأنه قد نجح في الانقباض والانبساط.

3D Printed Heart: The State of the Art in 2020 (additiv-tech.ru)

القلب والثورة العلمية في عام 2019: أعلن باحثون من جامعة تل أبيب أنهم خلقوا بنجاح نموذج لأول قلب بشري باستخدام تقنية الطباعة الثلاثية الأبعاد، ومع ذلك لا

يزال القلب صغيرًا جدًّا (في حجم قلب الأرنب) ويحتاج إلى تطوير كبير قبل أن يكون جاهزًا للزراعة. https://vimeo.com/316848296 فيديو مهم بسيط ومعبر BIOLIFE4D - The Science of Bioprinting a Human Heart on Vimeo

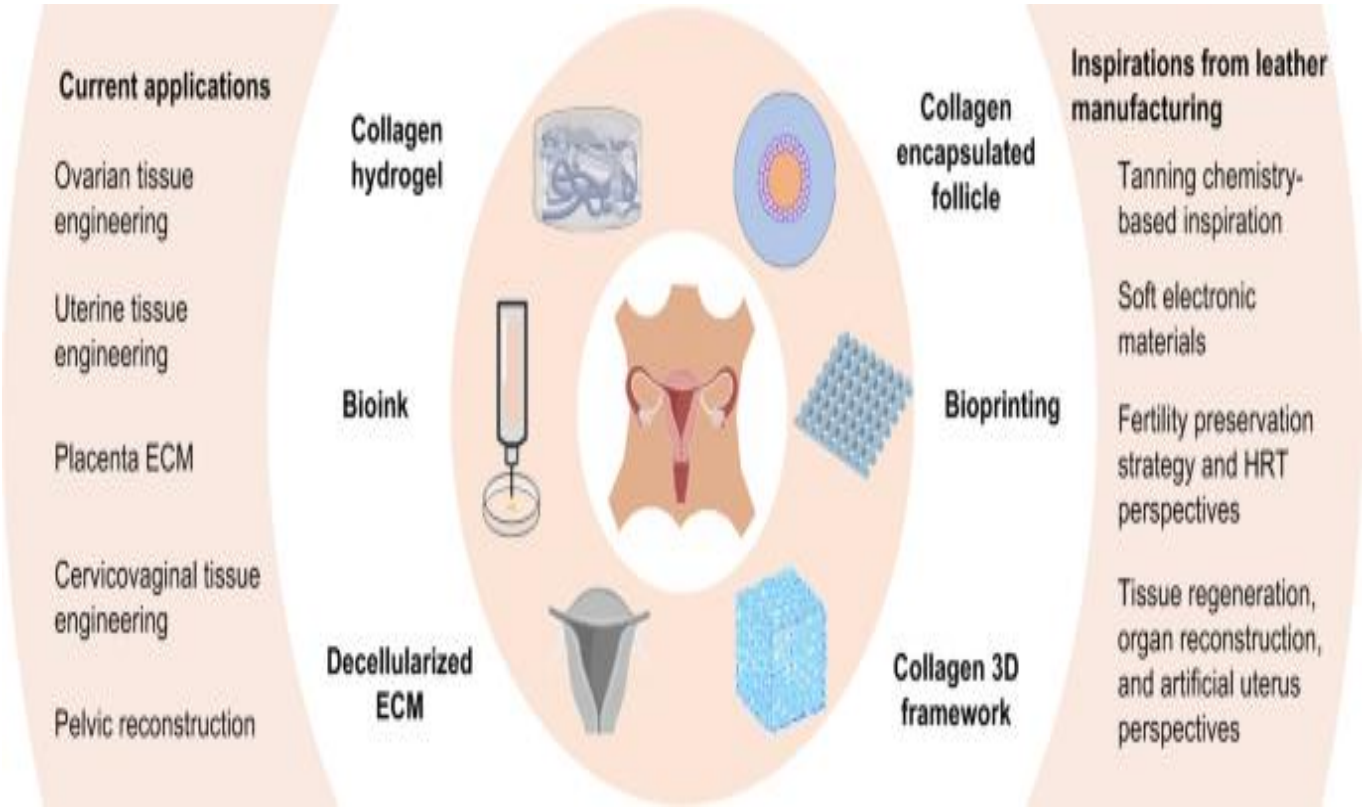
تفاصيل طباعة القلب البشري

- تمت طباعة قلب بشري، ولكن بحجم مماثل لقلب الأرنب، من قبل باحثي جامعة تل أبيب في عام 2019، كان قلبًا كاملًا بما في ذلك الخلايا والأوعية الدموية والبطانات.
- على الرغم من أن القلب ظل صامدًا ومتماسكًا، إلا أنه لم يكن قادرًا على التقلص والنبض مثل القلب البشري الطبيعي.
- يستخدم الباحثون الكهرباء لمحاولة تحفيز القلب المطبوع الثلاثي الأبعاد للنبض، ومازال التحدي موجودًا.
- من التحديات الكبيرة في هذا المجال خلق قلب يمكنه التقلص والنبض في نمط منتظم ومنسق لدرجة يمكنه معها تحقيق الدورة الدموية في الجسم البشري، لذلك، رغم أننا قد نشهد تقدمًا كبيرًا في الطباعة الحيوية، إلا أننا مازلنا بحاجة لكثير من البحث والتطوير قبل أن نتمكن من طباعة قلوب تعمل بشكل وظيفى كامل وبنفس الحجم.

عاشرًا: التحدي الأصعب أخلاقيًّا وشرعيًّا

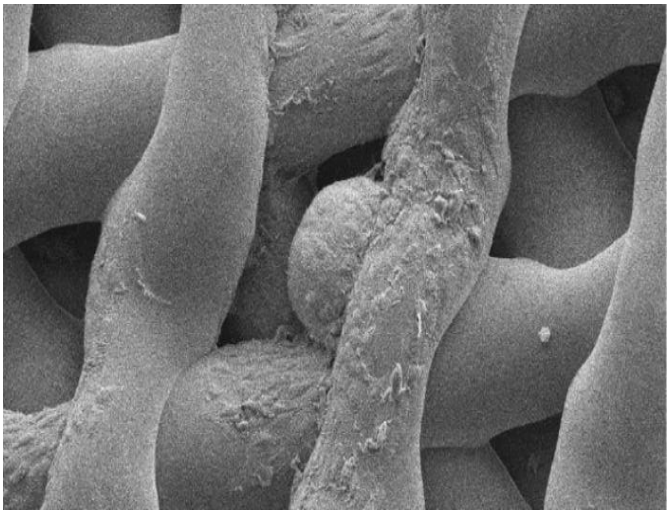
الطباعة الحيوية للأعضاء التناسلية

من التحديات المثيرة نجاح الطباعة الحيوية في طباعة بعض أنسجة الأجهزة التناسلية لعلاج عديد من أمراض العقم والذكورة وغيرها من الأمراض، ويجرى حاليًّا طباعة عديد من أنسجة الأعضاء لإجراء التجارب الإكلينيكية للدواء على مختلف الأجهزة التناسلية، وفي مجال طب النساء والتوليد تم تطبيق الطباعة الحيوية لأغراض متنوعة، بما في ذلك تشخيص الأمراض وعلاجها وبحوث آليات الإصابة والتعليم الطبي، مثل الاندماجات الرحمية الداخلية، والأورام الرحمية، والتشوهات الخلقية، والشذوذ الخلقي الجنيني.



طباعة المبايض للفئران بجامعة نورث وسترن الأمريكية

كشف مؤتمر الجمعية الأمريكية للغدد الصماء النقاب عن مبيض تم تطويره بواسطة الطباعة الثلاثية الأبعاد D3، وأثبتت التجارب الحيوانية التى أجريت على الفئران كفاءته وفاعليته في إنجاب الأجنة بشكل طبيعي دون مشاكل.



ونجح فريق من العلماء بجامعة نورث وسترن الأمريكية في التوصل إلى هذه التقنية الجديدة، واستخدموا الجيلاتين كمادة خام لتكوين هيكل كروي الشكل للمبيض، وبعد ذلك قاموا بملئه بالخلايا المفرزة لهرمون الإستروجين والخلايا البيضية oocytes التي تنضج بعد ذلك وتتحول إلى بويضات، ويخطط الباحثون حاليًا لتكرار هذه التجربة على الخنازير بعد نجاحها على الفئران، وذلك للتعرف على آثارها الجانبية قبل بدء التجارب الإكلينيكية على الإنسان.

مستشفى تونغي في الصين وطباعة مبايض الفئران

يمكن أن تساعد طباعة أجزاء من الجهاز التناسلي الثلاثي الأبعاد العلماء على فهم سلوك الخلايا وعلاج الأمراض بشكل أفضل، ولهاذا قامت مجموعة من العلماء في مستشفى تونغي في الصين بتطوير مبيض صناعي مطبوع ثلاثي الأبعاد باستخدام خلايا من فئران ومادة هيدروجيل جيلاتين الميثاكريلويل GelMA في عام 2022، وأشارت النتائج إلى أنه مناسب لنمو الجريبات المبيضية في المختبر، وأشار الباحثون إلى أنه يمكن تطبيق نتائجهم بشكل سريري في علاج حالات الغدد الصماء والتكاثر للإناث.

3D Printed Organs: The Top Viable Projects - 3Dnatives

Collagen-based materials in reproductive medicine and engineered reproductive tissues | Collagen and Leather | Full Text (springeropen.com)

طباعة 4 مهابل (جمع مهبل) مصممة هندسيًّا لأربع فتيات مصابات بعيب وراثي نادر (الزراعة الأولى في 2005، ونشرت الأبحاث في 2014).

- **تم تطوير رحم مصمم هندسيًّا** يستطيع الحفاظ على الحمل وتحقيق الولادة الحية في البيئة السريرية المبكرة. (نشرت الأبحاث في 2020).

Bioengineering | Free Full-Text | 3D Printing and Its Current Status of Application in Obstetrics and Gynecological Diseases (mdpi.com)

أهم التحديات وأولوية تحديد الضوابط

لحسن الحظ هناك حل مستقبلي هو الأعضاء الحيوية المطبوعة بتقنيات الطباعة الثلاثية الأبعاد، هذه التقنية مازالت بعيدة عن أن تكون جاهزة للاستخدامات السريرية اليومية في المراكز الطبية، حيث لا يزال الباحثون والباحثات يحاولون معرفة كيفية طباعة هياكل الأنسجة الحيوية بدقة، وكيفية إضافة الأوعية الدموية والأعصاب في أماكنها ضمن هذه الأنسجة، ولكن هناك أحد المؤشرات المبكرة لتقدم مهم في هذا المجال، لمعرفة هذا المؤشر انظر إلى العين.

على الرغم من أن طباعة الأعضاء الحيوية تعتبر ثورة صحية تقدم فرصًا طبية واجتماعية هائلة، ومع أنه قد تم بالفعل طباعة عديد من الأعضاء البشرية في طورها الأولي، فإنه توجد عديد من الضوابط التي تجب مراعاتها للقول بالإباحة، ومن أهم هذه التحديات والعقبات: القضايا التكنولوجية- الصحية- الأخلاقية– القانونية، التي تحتاج كلها إلى ضوابط لتعزيز المنافع وتقليل الضرر.

أولًا: التحديات التقنية

- ضرورة فرض رقابة صارمة على مراكز الأبحاث والتجارب الطبية البيولوجية المتعلقة بجسد الإنسان.
- أهمية إنشاء مؤسسات ومعاهد للبحوث العلمية المختصة بالتكنولوجيا الحيوية وعلوم الأحياء وفق الضوابط الشرعية، وذلك لتقليل الفجوة بين الدول الإسلامية والدول المنتجة للتقنية.
- تطوير الطابعات وطرق الطباعة بدقة كافية وتكلفة يمكن تحملها.

- تطوير ونمو الخلايا البشرية بصورة سريعة وفعالة وآمنة.
- تصميم شبكة من الأوعية الدموية المناسبة لتغذية الأعضاء.
- أهمية تطوير خلايا حيوية جديدة تدعم النمو الخلوي والنضج وصلابة الأعضاء أو مرونتها طبقا لوظيفتها.
- ضمان الدقة والثبات والأمان على المدى الطويل للأعضاء المطبوعة.

- الحاجة إلى إجراء مزيد من الأبحاث لضمان الأداء الوظيفي للأعضاء المطبوعة، مثل ضمان نبض القلب أو قدرة الكلى على الفلترة.

ثانيًا: التحديات والضوابط الصحية

- وجود القوى العاملة البشرية المدربة.
- أن يكون الدافع للقيام بهذه العملية تحقيق مصلحة طبية علاجية، لا لأغراض تجارية بحال من الأحوال.
- مراعاة حرمة وكرامة الجسد البشري حيًّا أو ميتًا، والحصول على إذن صاحبه.
- وجود رقابة طبية صارمة على أماكن إجراء هذه العملية.
- ضمان تأدية الوظائف على المدى الطويل، مثل دقة نبض القلب واستمراره.
- ضمان الأمان والموثوقية للأعضاء المطبوعة، مع الاستمرارية والثبات على المدى الطويل، وأن تصبح صلبة متماسكة وليست رخوة.
- ضمان الفعالية الوظيفية للحبر الحيوى وجعل الأعضاء تعمل كما ينبغي.
- ضرورة فرض رقابة صارمة وجدية على مراكز الأبحاث والتجارب الطبية البيولوجية المتعلقة بجسد الإنسان.

ثالثًا: القضايا الأخلاقية والشرعية

تدخل هذه التقنية المستحدثة ضمن الوقائع والنوازل التي لم يرد بشأنها نص صريح، فيجب إعمال العقل والنظر للوصول إلى الحكم الشرعي فيها، في ضوء:

- جواز التداوي، وهو من أكبر الاعتبارات الشرعية المؤيدة لجواز طباعة الأعضاء، وكذلك تحقيق الطباعة الحيوية لعديد من مقاصد الشريعة، مثل حفظ البدن وحفظ العقل.
- خلو الأمر من المحاذير الشرعية والأخلاقية والإنسانية التي قد تصاحب الاستنساخ وزراعة الأعضاء وغيرهما، ووجود مبدأ رفع الحرج والمشقة عن البشر.
- تطوير الأعضاء المطبوعة وفقًا للأخلاقيات والقيم الإسلامية، بصفة عامة، مثلها مثل ضمان استخدام الخلايا الجذعية والتلقيح الاصطناعي والهندسة الوراثية بطرق تتوافق مع التعاليم الإسلامية.
- توعية المسلمين بسماحة الدين الإسلامي وإعلاء مقاصد الشريعة التي تعزز صحة الإنسان وبدنه ونفسه وعقله، كي يزداد المسلم حبًّا لدينه.
- تطبيق القواعد الشرعية في النوازل الطبية ومنها: "الضرر يزال"، و"الأمور بمقاصدها"، و"للوسائل أحكام المقاصد".
- الاعتناء بالفقه الطبي، وتحرير النوازل فيه، وجمع متفرقها، فعلى المجامع الفقهية والهيئات الشرعية بحث ما يستجد من نوازل طبية.
- أهمية التواصل مع الجهات الطبية، وتبصير الناس ببيان حكم الشرع في كل ما يستجد فيها.
- أن يكون الغرض من العملية تحقيق مصلحة، سواء علاجية، أو لإجراء فحوص

أو تجارب طبية، فلا يجوز أن تخضع عملية الطباعة الحيوية للأغراض التجارية، وإلا حرمت تمامًا.

- مراعاة حرمة وكرامة الآدمي الحي، كما تراعى حرمة الميت عند أخذ بعض أعضائه بطريق التبرع، فيكون الغرض العلاج في حال تلف العضو أو بتره، وقد سبق بيان أن آلاف المرضى يموتون وهم بانتظار من يتبرع لهم بالعضو المطلوب.

رابعًا: القضايا القانونية والتنظيمية

تعتبر طباعة الأعضاء الحيوية تقنية جديدة ورائدة، ولذلك لا توجد حاليًّا قوانين أو تشريعات واضحة محددة للتعامل معها، خاصة طباعة الأعضاء التناسلية. القضايا القانونية قد تشمل الحق في الملكية الفكرية للأعضاء المطبوعة، والتحكم في الأعضاء المطبوعة واستخدامها، والتأمين الصحي، والتكاليف المرتبطة بالطباعة.

- يجب وضع قوانين وتنظيمات قوية وفعالة تتعامل مع القضايا المرتبطة بطباعة الأعضاء الحيوية، خاصة الأعضاء التناسلية، مثل سن قوانين حول الحقوق والمسؤوليات المتعلقة بالأعضاء المطبوعة، والتأمين الصحي والتكاليف، والمواقف القانونية حول الأعضاء المطبوعة في حالات الطوارئ الطبية والأعضاء التناسلية.
- وجوب التدخل التشريعي لتجريم أنماط الاعتداء على السلامة الجسدية والكرامة الإنسانية وحظر التلاعب بها.
- وضع قوانين صارمة لمنع استغلال التقنية في التجارة أو مقاصد فاسدة.

خامسًا: التحديات الاجتماعية

1. الفوارق الاجتماعية: كتكنولوجيا متقدمة وجديدة، قد تكون طباعة الأعضاء الحيوية باهظة الثمن، وبذلك يتمكن فقط الأشخاص الأكثر ثراء من الوصول إليها، هذا قد يزيد الفجوة بين الأغنياء والفقراء فيما يتعلق بالصحة والعناية الطبية، ويثير قضايا حول العدالة والمساواة.
2. القبول الاجتماعي: قد يكون بعض الناس غير مرتاحين لفكرة استخدام أعضاء تمت طباعتها لأسباب مثل المخاوف الصحية، أو المبادئ الدينية أو الثقافية، ويمكن أن تؤدي هذه المشاعر إلى مقاومة القبول الاجتماعي لهذه التكنولوجيا.
3. الاستغلال الاجتماعي: هناك خطر أن يتم استغلال الأفراد الأقل حظًّا، مثل الأفراد الفقراء أو الذين يعيشون في الدول النامية، كمصدر للخلايا أو المواد الأولية اللازمة لعملية البيوبرينتنغ.
4. التأثير على المجتمع المانح: يمكن أن تقلل البيوبرينتنغ من الحاجة إلى التبرع بالأعضاء، هذا قد يكون مفيدًا لأولئك الذين ينتظرون أعضاء، لكنه قد يحد أيضًا من مشاركة الناس في التبرع بالأعضاء، وهو أمر يمكن أن يؤثر على الأشخاص الذين لا يزالون بحاجة إلى الأعضاء التقليدية المتبرع بها.
5. الانعزال الاجتماعي والتمييز: قد يواجه الأشخاص الذين يتلقون الأعضاء المطبوعة التمييز أو الانعزال الاجتماعي، خاصة إذا كانت هناك مشاعر سلبية تجاه هذه التكنولوجيا في المجتمع.

مفاهيم وتعريفات وفروق مهمة

ما الفرق بين طباعة الأعضاء- الاستنساخ- زراعة الخلايا الجذعية؟

تتشابه هذه التقنيات الثلاث كونها تتعامل مع الخلايا الحية لخلق أنسجة جديدة أو كائنات حية، إلا أن كل واحدة منها تحقق هذا الهدف بطرق مختلفة ولأغراض متنوعة.

- الاستنساخ هو عملية بيولوجية يتم فيها إنتاج نسخة طبق الأصل من الخلايا أو الكائنات الحية من خلية واحدة داخل الرحم وبدون الحاجة إلى التكاثر الجنسي. هذه العملية يمكن أن تشمل طرقًا عدة، بما في ذلك الاستنساخ الجيني، والاستنساخ الجنيني، والاستنساخ الحراري.

الاستنساخ(Cloning)

هو عملية بيولوجية يتم فيها استنساخ نسخة طبق الأصل من الكائن الحي بدون الحاجة إلى التكاثر، من خلال نسخ المادة الوراثية عن طريق زرع بويضة منزوعة النواة مع خلية جسدية حية وجعلها تنمو داخل الرحم بحيث يحتوي العضو المستنسخ على المادة الجينية (DNA) نفسها، كالكائن الأصلي، وتوجد عديد من الأنواع للاستنساخ.

مثال عملي: النعجة "دوللي" التي تم استنساخها في عام 1996 هي أشهر كائن مستنسخ، وتم استنساخها من خلية من غدة الثدي لنعجة بالغة، وكانت أول كائن حي يتم استنساخه من خلية بالغة.

زراعة واستنبات الخلايا الجذعية (Stem Cell Culturing) تتضمن هذه العملية تحفيز نمو وتكاثر الخلايا الجذعية، بحيث يمكنها أن تتميز وتتحول إلى أي نوع من أنواع الخلايا المطلوب زراعتها، ويحدث زراعة الخلايا الجذعية إما بإنماء أنسجة الخلايا الجذعية مخبريًّا، أو عن طريق حقن الخلايا الجذعية في العضو المراد، ويمكن استخدام زراعة الخلايا الجذعية في الأبحاث وصناعة الأدوية وعلاج أمراض، مثل فقر الدم والسرطان وعديد من الأمراض الأخرى.

Bibliograph

- 3D Bioprinting- Definition, Principle, Process, Types, Applications (thebiologynotes.com)

- 3D Printed Organs: The Top Viable Projects - 3Dnatives

- Bajaj P, Schweller RM, Khademhosseini A, West JL and Bashir R, *Annu. Rev. Biomed. Eng*, 2014, 16, 247–276. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

Bioprinted pluripotent stem cell-derived kidney organoids provide opportunities for high content screening

ISSCR 2019 Annual Meeting
NovoGen Bioprinter® MMX technology to achieve automated, rapid fabrication of self-organizing kidney organoids.

- CDC: Centers of Disease Prevention and Control , USA

- Global Observatory on Donation and Transplantation (GODT), (GODT, 2017
- Three-dimensional bioprinting of artificial ovaries by an extrusion-based method using gelatin-methacryloyl bioink:

  T Wu and Y Y Gao et.al PMID: 33993814 DOI: 10.1080/13697137.2021.1921726

- Groll J, Boland T, Blunk T, Burdick JA, Cho D-W, Dalton PD, Derby B, Forgacs G, Li Q, Mironov VA, Moroni L, Nakamura M, Shu W, Takeuchi S, Vozzi G, Woodfield TBF, Xu T, Yoo JJ and Malda J, *Biofabrication*, 2016, 8, 013001. [PubMed] [Google Scholar]
  - Lee A, Hudson AR, Shiwarski DJ, Tashman JW, Hinton TJ, Yerneni S, Bliley JM, Campbell PG, Feinberg AW (2019) 3D

bioprinting of collagen to rebuild components of the human heart. *Science* 365 (6452):482–487. doi: 10.1126/science.aav9051 [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

- Papaioannou TG, Manolesou D, Dimakakos E, Tsoucalas G, Vavuranakis M, Tousoulis D (2019) 3D Bioprinting Methods and Techniques: Applications on Artificial Blood Vessel Fabrication. *Acta Cardiol Sin* 35 (3):284–289. doi: 10.6515/ACS.201905_35(3).20181115A [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Duan B, Hockaday LA, Kang KH, Butcher JT (2013) 3D bioprinting of heterogeneous aortic valve conduits with alginate/gelatin hydrogels. *J Biomed Mater Res A* 101 (5):1255–1264. doi: 10.1002/jbm.a.34420 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Lee V, Singh G, Trasatti JP, Bjornsson C, Xu X, Tran TN, Yoo SS, Dai G, Karande P (2014) Design and fabrication of human skin by three-dimensional bioprinting. *Tissue Eng Part C Methods* 20 (6):473–484. doi: 10.1089/ten.TEC.2013.0335 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Markstedt K, Mantas A, Tournier I, Martinez Avila H, Hagg D, Gatenholm P (2015) 3D Bioprinting Human Chondrocytes with Nanocellulose-Alginate Bioink for Cartilage Tissue Engineering Applications. *Biomacromolecules* 16 (5):1489–1496. doi: 10.1021/acs.biomac.5b00188 [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Laronda MM, Rutz AL, Xiao S, Whelan KA, Duncan FE, Roth EW, Woodruff TK, Shah RN (2017) A bioprosthetic ovary created using 3D printed microporous scaffolds restores ovarian function in sterilized mice. *Nat Commun* 8:15261. doi:

10.1038/ncomms15261 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

- Raffel N, Dittrich R, Bauerle T, Seyler L, Fattahi A, Hoffmann I, Leal-Egana A, Beckmann MW, Boccaccini AR, Liverani L (2019) Novel approach for the assessment of ovarian follicles infiltration in polymeric electrospun patterned scaffolds. *PLoS One* 14 (4):e0215985. doi: 10.1371/journal.pone.0215985 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Liverani L, Raffel N, Fattahi A, Preis A, Hoffmann I, Boccaccini AR, Beckmann MW, Dittrich R (2019) Electrospun patterned porous scaffolds for the support of ovarian follicles growth: a feasibility study. *Sci Rep* 9 (1):1150. doi: 10.1038/s41598-018-37640-1 [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- Gungor-Ozkerim PS, Inci I, Zhang YS, Khademhosseini A, Dokmeci MR (2018) Bioinks for 3D bioprinting: an overview. *Biomater Sci* 6 (5):915–946. doi: 10.1039/c7bm00765e [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]

- Murphy SV, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. Nat Biotechnol. 2014 Aug;32(8):773-85. doi: 10.1038/nbt.2958.

- WHO: World health Organization

- Zhang YS, Yue K, Aleman J, Mollazadeh-Moghaddam KM, Bakht SM, Dell'Erba V, Assawes P, Shin SR, Dokmeci MR,

- البيوتكنولوجيا في الطب والزراعة/ دكتور أحمد مستجير، جـ 1، صـ: 116، الناشر: المكتبة الأكاديمية بالقاهرة، الطبعة الأولى: 1998م
- الطباعة ثلاثية الأبعاد ميلاد ثورة صناعية جديدة، Hod Lipson and Melba Kurman، ترجمة: زياد إبراهيم، جـ 1، صـ27، الناشر: مؤسسة هنداوي CIC.مجلة العلوم التطبيقية، عدد: [4]، مجلد: [9]، https://www.mdpi.com، الطباعة المجسمة مستقبل رائع للتعويضات البشرية، د. ناصر محي الدين الملوحي 79/1.
- حكم استنبات الأعضاء البشرية / د. عباس الباز، صـ 55.

أهم الفيديوهات

أهم فيديوهات الطباعة الحيوية للأعضاء

هذه بعض الروابط لمقاطع الفيديو تبيّن بوضوح كيفية الطباعة الحيوية ومراحلها

3. طباعة الخلايا الجذعية الحيوانية بشكل ثلاثي الأبعاد وباستخدام الحبر الحيوي - YouTube

فيديو ممتاز يشرح العملية بالتفصيل وبطريقة مبسطة في معمل تركي منذ عامين

4. الطباعة الحيوية- اطبع كبدك - وداعًا لانتظار المانحينYouTube -

5 دقائق باللغة العربية، منذ عامين.

طباعة الخلايا الجذعية الحيوانية بشكل ثلاثي الأبعاد وباستخدام الحبر الحيويYouTube -

5. How to 3D print human tissue - Taneka Jones - YouTube
ممتاز جدًّا، 5 دقائق تابع للمنصة الشهيرة TED (منذ 3 سنوات).

6. BIOLIFE4D - The Science of Bioprinting a Human Heart on Vimeo
فيدو لمدة دقيقتين فقط، ومعبر.

7. لأول مرة في الشرق الأوسط الإمارات تطلق تقنية الطباعة الحيوية الرباعية الأبعاد(albayan.ae) .

8. صحيفة البيان :on Twitter وزارة الصحة ووقاية المجتمع تُطلق تقنية الطباعة الحيوية الرباعية الأبعاد لأول مرة في منطقة الشرق الأوسط # البيان_القارئ_دائمًاhttps://t.co/U07KcEhU18 https://t.co/1KzaqmbGd4" / Twitter

9. طباعة أول قلب بشري بطابعة ثلاثية الأبعاد في إنجاز علمي غير مسبوق، في تل أبيب منذ 4 سنوات (قلب بحجم قلب الأرنب)

10. الطباعة الثلاثية البعد للأعضاء.. كيف تتم؟ وهل في وسع المريض تحمل كلفتها؟CNN Arabic - بها فيديو قصير متميز حول طباعة الرئتين.