كلية طب الأسنان

مقرر
النانو وطب الأسنان
(DEFE902)

(المحاضرة الثانية)

تقنية النانو والزراعات السنية

Nanotechnology and dental implants

الفصل الدراسي الأول

2025-2026

Dr. M. Moualla

تعرف الزرعات السنية (Dental implants) على أنها جذور أسنان صناعية مصنوعة من مواد متوافقة حيوياً (التيتانيوم مثلاً)، يتم وضعها جراحياً في عظم الفك لتشكل قاعدة ثابتة للأسنان البديلة، خلافاً لأطقم الأسنان أو الجسور، التي ترتكز على اللثة أو الأسنان المجاورة. تمتاز هذه الغرسات بقدرتها على الاندماج مع العظام (الاندماج العظمي).

يبقى الاندماج طويل الأمد للزرعات المعدنية في الأنسجة العظمية مصدر قلق لأطباء زراعة الأسنان. نظرًا لسوء القدرة على توجيه نمو العظم. تغلف غالبًا الأنسجة الليفية الزرعة المعدنية، مما يعيق عملية الشفاء. وللتغلب على هذه العوائق، تم تطوير طلاء الهيدروكسي أباتايت HA كتقنية تعديل سطح الزرعة لتحسين قدرة الزرعات المعدنية على تحسين نمو العظم.

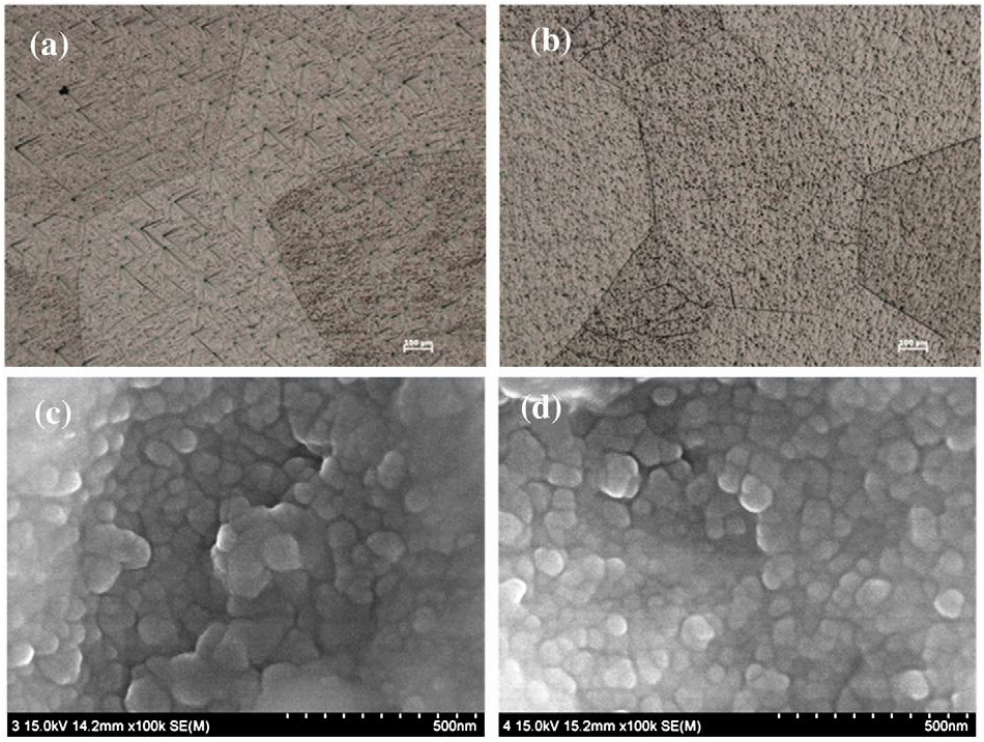
امتاز الجيل الأول من الزرعات السنية المصنوعة من التيتانيوم بامتلاكه أسطح ناعمة تقريباً (سماكتها $0.3 - 1\mu m$) يتم زراعتها على مرحلتين مع تسجيل أداء سريري جيد. كما قام العلماء بتطوير سبائك تيتانيوم جديدة لتكون مواد زرع الأسنان بسبب خصائصها الميكانيكية الجيدة ونشاطها الحيوي.

يعتبر تشكيل الأنابيب النانوية Nanopores على أكسيد التيتانيوم مهم جداً لتحسين التصاق الخلايا وتكاثرها في التطبيقات السريرية من خلال زيادة مساحة سطح التماس ما بين الزرعة السنية والنسيج العظمي، حيث أن معظم الأبحاث الحديثة تهدف للوصول إلى اندماج أسرع وثبات أكثر للزرعات السنية في العظم من خلال طلي هذه الزرعات بمواد نانوية نشطة بيولوجياً وتحفيز وظيفتها الضوئية (photofunctionalization) باستخدام الأشعة فوق البنفسجية.

ينتج عن تعريض سبيكة التيتانيوم للأشعة فوق البنفسجية ($\lambda = 370nm$) حدوث تفاعل فوتوكيميائي يحدث تغيير كيميائي في أكسيد التيتانيوم كإنشاء سطح محب للماء (Hydrophilic) مما يعزز النشاط الحيوي للتيتانيوم ويزيد من قدرته على التآلف مع العظم، حيث تعمل الطلاءات النانوية المحبة للماء على تشجيع الاندماج العظمي بشكل أسرع من خلال تعزيز ارتباط البروتين وانتشار الخلايا.

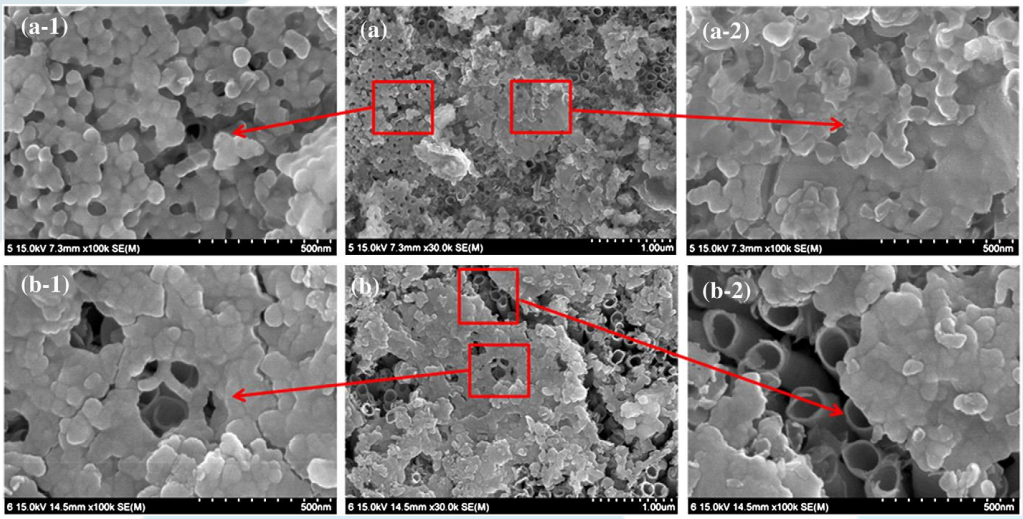
بالإضافة إلى ذلك فإن تعريض التيتانيوم للأشعة فوق البنفسجية، ينتج أنواع من الأكسجين التفاعلي التي يمكن أن تلحق الضرر (تنظيف ذاتي) بجدران الخلايا البكتيرية والحمض النووي على الأسطح المزروعة.

لتحسين النشاط الحيوي (bioactivity) والتوافق النسيجي (biocompatibility) لسطح التيتانيوم، يعتبر **طلي الهيدروكسي أباتايت HA** أمرًا هامًا لتحسين التصاق الخلايا وتكاثرها في التطبيقات السريرية. تم تطوير العديد من تقنيات تعديل السطح (Surface modification) لتحسين الهياكل الوظيفية وأداء المواد المستخدمة في زراعة الأسنان. تم على مدى العقود القليلة الماضية استخدام **طريقة الرش الحراري (Thermal spray method)**، ولكن كان التصاق طبقة الهيدروكسي أباتايت المكون بهذه الطريقة ضعيف نسبياً. علاوةً على ذلك، يمكن أن تؤثر هذه الطريقة عالية الحرارة على البنية الدقيقة لسبائك التيتانيوم.



الشكل1: صور مجهرية لسبيكة Ti–30Nb–15Zr (a-c) ولسبيكة Ti–30Nb–3Zr (b-d).

لذلك، ركز العديد من الباحثين على تقنية **الترسيب الفيزيائي للبخار بحزمة إلكترونية** (Electron Beam-Physical Vapor Deposition- EB-PVD) وهي تقنية طلاء بدرجة حرارة منخفضة، لتثبيت HA على الزرعات السنية.

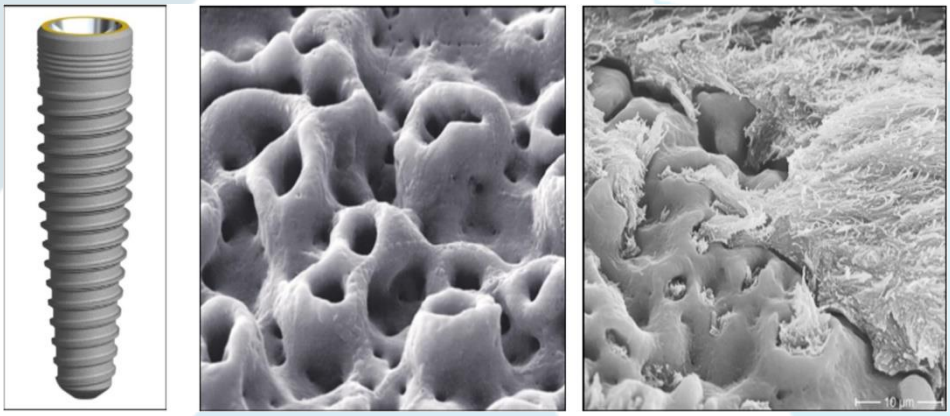


الشكل2: صور مجهرية لسبيكة Ti–30Nb–15Zr (a) ولسبيكة Ti–30Nb–3Zr (b) بعد تشكل الأنابيب النانوية.

تم الحصول على الطلاءات النشطة بيولوجيًا من فوسفات الكالسيوم وهيدروكسيباتيت وحتى الزجاج النشط حيويًا من خلال العديد من التقنيات الفيزيائية: رذاذ البلازما (plasma spray)، الرش المغنطروني (magnetron sputtering)، الترسيب بمساعدة شعاع الأيونات (Ion Beam Assisted deposition)، ترسيب الليزر النبضي (pulsed laser deposition)، بالإضافة إلى العديد من التقنيات الكيميائية: تقنية الصول-جيل (sol–gel)، تقنية الترسيب الكهروكيميائي (electrochemical deposition) و تقنية الرش بالأمواج فوق الصوتية للانحلال الحراري (ultrasonic spray pyrolysis).

تقنية أخرى من تقنيات تحضير الزرعات السنية نانوياً هي **ترسيب طبقات الهيدروكسي أباتايت على التيتانيوم باستخدام رزاز البلازما بالتحفيز الراديوي** (Coupled Radio Frequency Plasma Spray). يؤدي تطبيق حقل كهربائي متغير الشدة يقع تردده ضمن المجال الراديوي RF إلى إجبار الإلكترونات على الحركة بتواتر موافق لتواتر التيار الكهربائي المطبق وعند اصطدام هذه الإلكترونات بجزيئات الغاز تتأين وتشكل البلازما التي ترش بها الأسطح المطلوبة. طلاء البلازما المتولدة بهذه الآلية هو عملية ترسيب لطبقة رقيقة جداً (سماكتها من مرتبة النانومتر) على سطح الزرعة باستخدام جهاز خاص يدعى الترميل البلازما (Plasma Jet) تحت تأثير منخفض جداً ودرجة حرارة عالية جداً (10000K). يتم تغذية الجهاز بالمواد المراد طلائها مما يؤدي إلى ذوبان هذه المواد تحت تأثير درجة الحراة العالية جداً من ثم رشها على السطح المطلوب مما يكسب هذا السطح مزايا عديدة كتشكل طبقة رقيقة متجانسة متينة شديدة الترابط بقوة تصل حتى 24MPa.

تم فحص السمية الخلوية لطلاءات HA عن طريق استخدام خلايا عظمية من أجنة بشرية (hFOB) على الأسطح المطلية ومن ثم زراعتها في عظم فخذ الفئران. بعد أسبوعين من الزرع، كان تكوين العظم واضحًا على سطح الزرع المطلي بـ HA. مما قد يشير إلى التكامل المبكر للأنسجة المزروعة في الجسم الحي ما يعني بداية اندماج الأنسجة العظمية مع الزرع مقارنة بالتيتانيوم غير المغلف.



الشكل3: زرعة سنية سطحها معالج نانوياً مع صورة مجهرية للثقوب النانوية على سطح هذه الزرعة.

تم في إحدى الدراسات العلمية الحديثة **دمج معالجة سطحية كيميائية** مبتكرة وحاصلة على براءة اختراع بنجاح **مع عملية التخريش الحمضي المزدوج** (Dual acid etching process) التقليدية لزراعة الأسنان فكانت النتيجة الحصول على تضاريس

سطحية متعددة النطاقات (نسيج نانوي متداخل على مسامية دقيقة)، مع زيادة كبيرة في مجموعات الهيدروكسيل السطحية وصولاً إلى تكامل العظام بشكل أسرع وأكثر فعالية، مقارنة بتلك الموجودة في السوق، كما تم تطوير بروتوكول محدد للتحقق من المقاومة الميكانيكية للاحتكاك أثناء زرع السن، فتعديل سطح زرعة التيتانيوم للحصول على طبقة أكسيد التيتانيوم النانوية الغنية بمجموعات الهيدروكسيل عن طريق تخريش السطح بواسطة حمض الهيدروفلوريك (Hydrofluoric acid etching) .

يمكن للنسيج النانوي ومجموعة الهيدروكسيل تحسين امتصاص البروتين والسلوك الخلوي على الزرعات السنية. طبقة الأكسيد المنتجة مقاومة للخدش بدرجة عالية ولا تؤثر على مقاومة الإجهاد والتآكل لزرعة التيتانيوم.

عملية تحسين السطح الرئيسية المستخدمة حاليًا في الزراعات السنية هي: الطلاءات المسامية بواسطة رذاذ البلازما (Titanium Plasma Spray, TPS) أو **التلبيد** (sintering) حيث يتم قذف السطح بجزيئات مواد مختلفة ($AL2O_3, TiO_2, ZrO_2$) وبأحجام مختلفة ($25\mu m - 250\mu m$) لتكون سماكة الطبقة الناتجة ($0.5\mu m - 2\mu m$).

تعد التضاريس السطحية أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على امتصاص البروتين والسلوك الخلوي وبالتالي الأداء الحيوي للزرعات السنية، حيث بينت النتائج السريرة أن الثبات الأولي للغرسة (Primary implant) يتأثر بشدة بتصميم الزرعة، بينما تؤثر الميزات الدقيقة والنانوية لهذه الأسطح على استجابة الخلايا لعملية الزرع فهي تتحكم باستقطاب الخلايا والالتصاق و تنظيم الهيكل الخلوي وحتى التعبير الجيني. علاوةً على ذلك، يتم تعديل امتصاص البروتين وتكوينه أيضًا بواسطة تنعيم سطح النانو دن أن يكون هناك خطر زيادة التلوث البكتيري.

تتمتع هذه الأسطح المعدلة نانوياً بنشاط حيوي وقابلية تبليل جيدة، وقدرة على تحفيز التصاق وتمايز الخلايا العظمية عليها. بالإضافة إلى ذلك يمكن تحسين طبقة الأكسيد السطحية عن طريق إضافة وسيط مضاد للبكتيريا (مثل الفضة) لتحفيز سلوك مضاد للبكتيريا، حيث يؤدي دمج الجسيمات النانوية (الهيدروكسيباتيت أو الفضة) في مركبات الأسنان إلى تحسين القوة الميكانيكية، ومقاومة التآكل، والخصائص المضادة للبكتيريا.

تتمتع الفضة بشكل عام بخصائص مضادة للبكتيريا، وبالتالي عندما يتم إعادة هندستها نانوياً (جسيمات الفضة النانوية)، تصبح أكثر فعالية من خلال إطلاقها أيونات الفضة، المسؤولة عن تعطيل أغشية الخلايا البكتيرية، مما يعني تعطيل نشاط الإنزيم وبالتالي منع نمو وتكاثر البكتيريا. مما يخفض من خطر الإصابة بالتهاب محيط الزرع (التهاب حول الزرع) بشكل ملحوظ.

Best of luck my dears...