كلية طب الأسنان

مقرر
النانو وطب الأسنان
(DEFE902)

(المحاضرة السادسة + المحاضرة السابعة)

تقانة النانو والتقويم

Nanotechnology & Orthodontics

الفصل الدراسي الأول

2025-2026

Dr. M. Moualla

مقدمة (Introduction):

يمكن أن يكون العلاج التقويمي تجربة غير مريحة للمريض قد يكون لها عواقب سلبية . الأهم هو أن أجهزة تقويم الأسنان، وخاصةً الحاصرات، تخلق مناطق تجمع جديدة على سطح السن تحجب قوى القص (الناتجة عن تدفق السوائل والمضغ) التي تساعد على إزالة البلاك، مما يؤدي إلى تراكم البلاك غير المرغوب فيه.

في الواقع، تعتبر الحاصرات أحد الأسباب الرئيسية لهذه الآفات غير المرغوب فيها لأنها تسهل تراكم البكتيريا مما يجعل نظافة الفم صعبة على المرضى. لاحقاً قد تظهر البقع البيضاء (WSL) حول قاعدة الحاصرات بفعل إزالة الكالسيوم من ميناء الأسنان، فقد يحدث تآكل ميناء الأسنان لدى مرضى تقويم الأسنان خلال شهر واحد فقط، ما يعني احتمالية تطور هذه الآفات النخرية وإحداثها عدوى شديدة وألام. لذلك، تحظى المواد التقويمية المعدلة نانوياً ذات الخصائص المضادة للميكروبات بطلب كبير من قبل أطباء الأسنان. المادة اللاصقة الأكثر استخداماً في التقويم هي مادة من الراتنج يتم خلطها بمركبات تطلق الأيونات (مثل مركبات الفلورايد، والسليكا أو الحديد) لتعزيز عملية إعادة تمعدن المواد.

اكتسبت تقانة النانو أهمية كبيرة في السنوات الأخيرة بسبب قدرتها على تحسين خصائص المواد المستخدمة في عملية التقويم، كتعزيز النشاط المضاد للميكروبات ومتانة هذه المواد. ففي إحدى الدراسات العلمية تم طلاء أسلاك التقويم بكبريتيد التنغستن النانوي مما أدى إلى تقليل قوى الاحتكاك بين أسلاك التقويم والحاصرات أثناء العلاج. كما بينت دراسات أخرى أنه مع زيادة تركيز جسيمات أكسيد الزنك النانوية ZnO، انخفضت قوى الاحتكاك بين الأسلاك والحاصرات بشكل ملحوظ، بالإضافة إلى زيادة التأثير المضاد للميكروبات لهذه المواد. ومع ذلك، فإن تثبيت الحاصرات بالميناء يمثل قضية بالغة الأهمية في أبحاث تقويم الأسنان، وهو ما يمكن تحقيقه باستخدام المواد النانوية بحيث تبقى الخصائص الفيزيائية، كقوة القص أو صلابة المواد اللاصقة، مقبولة. تم الاستفادة من خاصية التعقيم (المضادة للبكتريا) التي تمتلكها جزيئات النانو الفضية (AgNPs) من خلال إدخالها في تركيب المواد السنية أو طلاء سطح هذه المواد لمنع التصاق الميكروبات بالسطح. بالرغم من ذلك، فإن معظم جسيمات الفضة النانوية سامة لجسم الإنسان، وبسبب حجم جسيماتها الصغير جداً فهي قادرة على اختراق الأنسجة البشرية، وبالتالي، هناك حاجة إلى مزيد من البحث لاستخدام مواد نانوية أخرى أكثر أماناً. أصبحت الخصائص المضادة للميكروبات لجزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية TiO_2 وتطبيقاتها في الطب وطب الأسنان والعلوم الأخرى معروفة على نطاق واسع. عادةً ما يتم معالجة لاصق التقويم باستخدام الأشعة المرئية أو الأشعة فوق البنفسجية لإحداث تفاعل بلمرة يحسن من الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذا اللاصق.

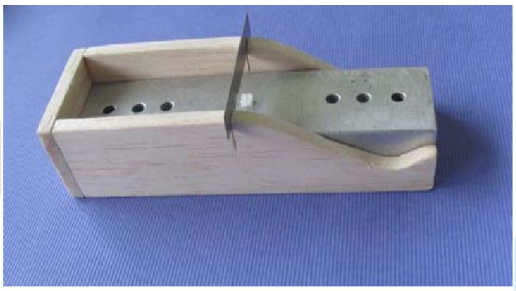
يتزايد في الوقت الحاضر استخدام الحاصرات الخزفية لما تتمتع به من جمالية أكبر من الحاصرات الفولاذية، ولكن تتميز الحاصرات السيراميكية باحتكاك أعلى بكثير منه عند استخدام الحاصرات الفولاذية. تعود الاختلافات في نسبة الاحتكاك بين الحاصرات الفولاذية والسيراميكية إلى خصائص سطح الحاصرات السيراميكية. حتى الآن، تم تقديم تقنيات مختلفة للتغلب على هذه المشكلة، بما في ذلك استخدام الأسلاك بأشكال وأحجام مختلفة أو تركيبات كيميائية مختلفة. طُرح استخدام

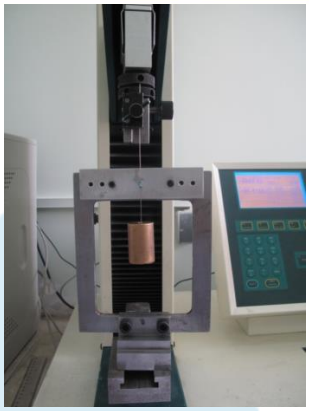
الجسيمات النانوية كروية الشكل في تسعينيات القرن الماضي. ويُعتبر هذا الإنجاز التكنولوجي فعالاً في تقليل الاحتكاك بين الأسطح المعدنية.

تقانة النانو والمعالجة التقويمية (Nanotechnology & Orthodontic):

يسرع الانخفاض في الاحتكاك بين سلك تقويم الأسنان والحاصرة حركة الأسنان أثناء العلاج التقويمي ويسمح للطبيب المعالج بالتحكم بالتثبيت.

تم خلال إحدى الدراسات العلمية تقييم قوى الاحتكاك عن طريق طلاء أسلاك تقويم الأسنان والحاصرات الخزفية بجسيمات نانوية من أكسيد الزنك ZnO. تم في هذه الدراسة المختبرية تقييم مجموعة من 120 عينة من أسلاك تقويم الأسنان (0.025×0.019) مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ SS وحاصرات من البورسلين (22cm) مع وبدون جسيمات نانوية من أكسيد الزنك. تم غمر الأسلاك (و الحاصرات) في الإيثانول لمدة 30 دقيقة في حمام أمواج فوق صوتية عند $30C^{\circ}$ ثم نقلها إلى حمام مائي عند $80C^{\circ}$. تم حل الجسيمات النانوية بالكامل داخل الإيثانول ثم تم وضع الأسلاك (و الحاصرات) في هذا المحلول، حيث أكدت صور المجهر الإلكتروني الماسح SEM ترسب الجسيمات النانوية من أكسيد الزنك على الأسلاك والحاصرات .



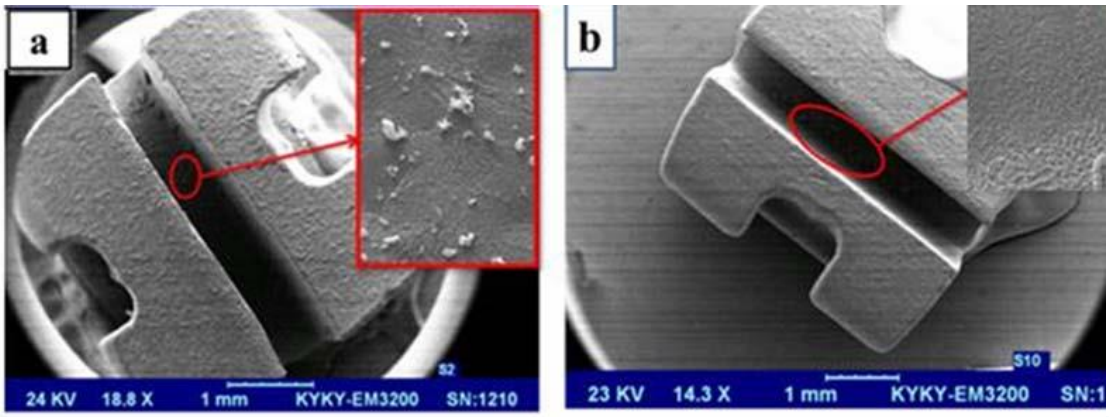


الشكل1: تثبيت الحاصرة المدروسة على صفيحة من الألمنيوم بلاصق معين (في الأعلى). قياس قوة الاحتكاك بين السلك والحاصرة (في الأسفل).

تم حساب قوى الاحتكاك بين الأسلاك والحاصرات في أربع مجموعات: المجموعة ZZ (سلك وحاصرة مطليين)، المجموعة OO (سلك وحاصرة غير مطليين)، المجموعة ZO (سلك مطلي وحاصرة غير مطلية) والمجموعة OZ (سلك غير مطلي وحاصرة مطلية). بعد ترسيب الجسيمات النانوية على الأسلاك والحاصرات، تم إجراء الاختبارات لقياس قوى الاحتكاك أثناء الانزلاق. لذلك، تم تثبيت الحاصرات على لوحة من الألومنيوم باستخدام لاصق. تم استخدام آلة اختبار عالمية لسحب الأسلاك وإنشاء حركات انزلاقية بين الأسلاك والحاصرات، تم ربط الطرف العلوي من السلك بالذراع العلوي لآلة الاختبار العالمية وتم ربط طرفه السفلي بثقالة وزنها $(150\ g)$ (الشكل1). تم سحب السلك بمعدل $(0.5\ mm/sec)$ لمدة $(25\ sec)$ومن ثم تم قياس القوة. لمحاكاة الظروف الفموية، تم سكب اللعاب الاصطناعي على السلك و الحاصرة كل $3\ sec$ بواسطة القطارة.

يظهر الشكل2 صور المجهر الإلكتروني الماسح للحاصرات مع أو بدون ترسب الجسيمات النانوية من أكسيد الزنك.

كانت قوة الاحتكاك في المجموعة ZZ $(3.07 \pm 0.4N)$هي الأعلى، بينما كانت في المجموعة OZ $(2.18 \pm 0.5N)$ هي الأقل، لم يُلاحظ فرق كبير في قوى الاحتكاك بين المجموعتين ZO وOO $(2.65, 2.70\ N)$ على التوالي. أظهرت مجموعة ZO انخفاضاً بنسبة 1% في الاحتكاك مقارنةً بمجموعة OO. وأظهرت مجموعتا OZ وZZ انخفاضاً بنسبة 17% وزيادة بنسبة 13% في الاحتكاك مقارنةً بمجموعتي ZO وOO، على التوالي (الجدول1).



الشكل2: صورة بواسطة المجهر SEM لحاصرة مطلية بمواد نانوية (a) ولأخرى تقليدية (b).

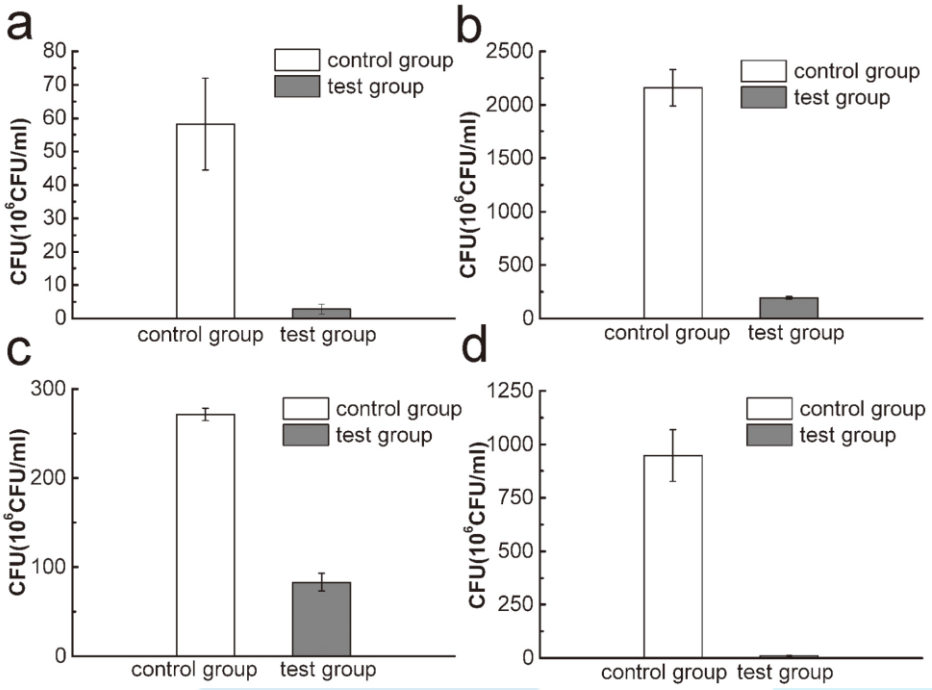
الجدول1: نتائج قياس قوة الاحتكاك بين الأسلاك والحاصرات للمجموعات الأربع المدروسة.

Group	Mean	confidence interval for mean %95
ZO	2.65	2.77–2.53
OO	2.70	2.84 – 2.56
OZ	**2.18**	**2.39 – 1.97**
ZZ	3.07	3.22–2.91

في المرحلة الأولى، عندما يكون السلك وفتحة الحاصرة متوازيين مع بعضهما البعض، تعمل الجسيمات النانوية كفاصل، مما يقلل من نقاط تماس السطوح مع بعضها البعض؛ ونتيجة لذلك، ينخفض معامل الاحتكاك. يمكن أن يؤدي طلاء أسطح الحاصرات الخزفية بجسيمات نانوية من أكسيد الزنك إلى تقليل الاحتكاك، ولا يُنصح بطلي الأسلاك والحاصرات سوياً لأنه يزيد الاحتكاك.

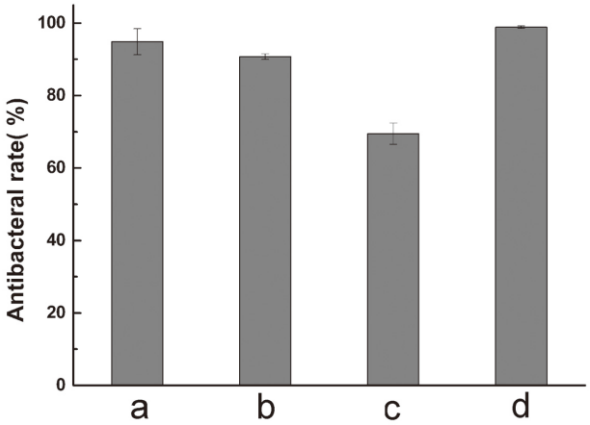
وفي دراسة علمية أخرى تم طلاء الحاصرات بغشاء رقيق من ثنائي أكسيد التيتانيوم المضاف إليه النيتروجين $TiO_2_N_y$ بطريقة الرش المغنتروني باستخدام أمواج راديوية RF. تم تحديد الخواص الفيزيائية والكيميائية للطبقة النانوية المشكلة على سطح الحاصرات بالاعتماد على انعراج الأشعة السينية X-Ray Diffraction ومحلل الأطياف، في حين تم تقييم النشاط المضاد للميكروبات المسببة للأمراض الفموية الشائعة بالاعتماد على عدد المستعمرات الجرثومية المتبقية في طبق بتري.

يظهر الشكل3 عدد المستعمرات (Colony Forming Units, CFU) للمجوعة المعيارية ولأقواس الاختبار، في حين يظهر الشكل4 معدلات التأثير المضاد للبكتيريا: S. mutans, L. acidophilus, A. viscous, C. albicans على الترتيب، حيث بلغت نسبة النشاط المضاد للفيروسات الذي أظهرته هذه المادة النانوية ضد كلاً من S. mutans, L. acidophilus, A. viscous, C. albicans القيم: 95.19%, 91.00%, 69.44%, 98.86% على الترتيب.



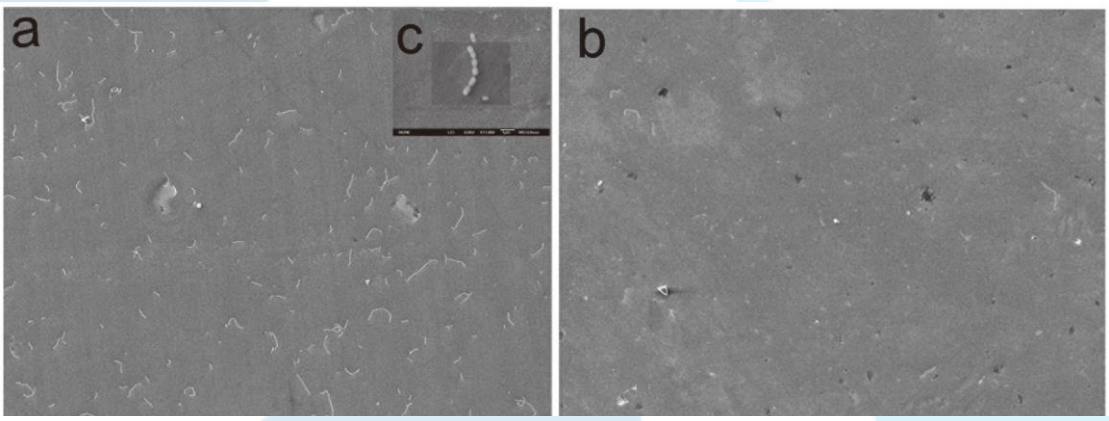
الشكل3: تعداد المستمرات في كلاً من المجموعة الرئيسية Control group (حاصرات تقويم تقليدية) والمجموعة المدروسة test group (حاصرات مطلية بـ $TiO_2_N_y$)، لكل من: S. mutans (a)، L. acidophilus (b) ، A. viscous (c)، C. albicans (d).

وعليه نستطيع القول بأن طلي الحاصرات بغشاء رقيق من $TiO_2_N_y$ يخفض من التصاق بكتريا S. mutans بقوة. كما بينت هذه الدراسة أن طلي الحاصرات التقويمية بمواد فعالة نانوية قد يكون فعال في الوقاية من انخفاض تمعدن ميناء الأسنان (Demineralization) والتهاب اللثة أثناء العلاج التقويمي.



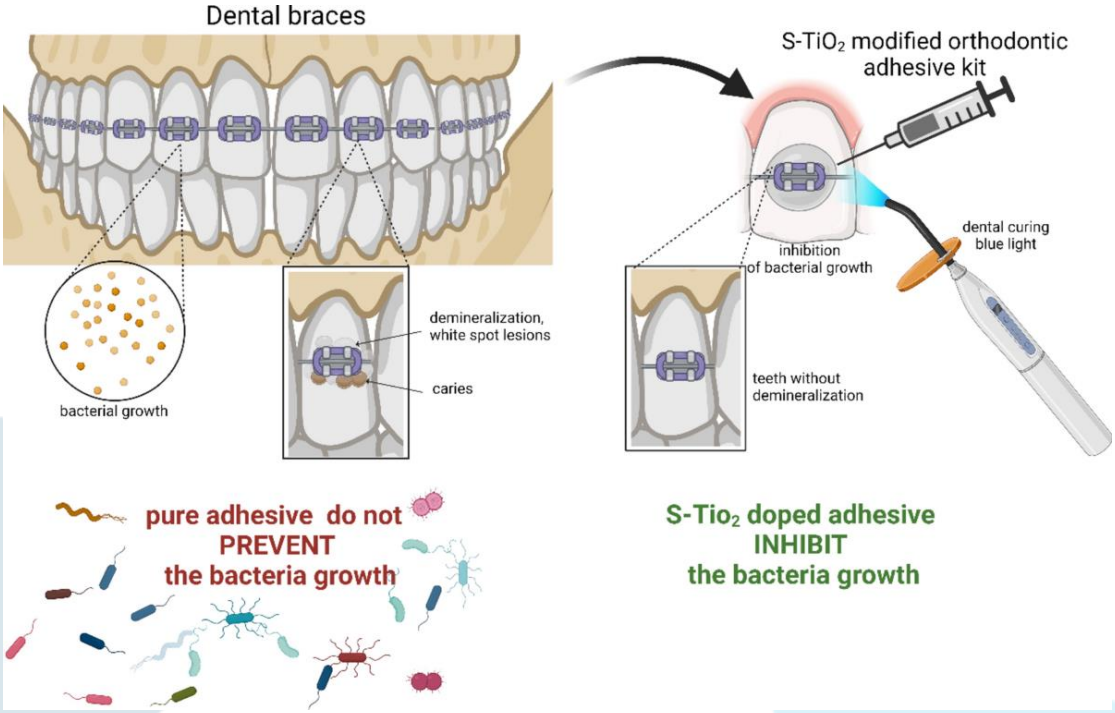
الشكل4: معدلات النشاط المضاد للميكروبات للحاصرة المغطات بغشاء من $TiO_2_N_y$ ضد للبكتريا (a) S. mutans، (b) L. acidophilus، (c) A. viscous، (d) C. albicans .

أظهر فحص المجهر الإلكتروني الماسح SEM للحاصرة المطلية بغشاء نانوي وحاصرة تقليدية تم غمرهما في معلق S. mutans، عددًا كبيرًا من البكتيريا الملتصقة بسطح الحاصرة التقليدية، بينما كان عدد البكتيريا الملتصقة بسطح الحاصرة المطلية بغشاء رقيق من $TiO_2_N_y$ أقل (الشكل5).



الشكل5: (a) البكتريا الملتصقة بسطح حاصرة تقليدية. (b) البكتريا الملتصقة بسطح حاصرة مطلية بغشاء من $TiO_2_N_y$. (c) صورة مكبرة بواسطة المجهر SEM للبكتريا S. mutans.

لم تقتصر إضافة المواد النانوية على الأسلاك والحاصرات، بل تعدت ذلك إلى المواد اللاصقة المستخدمة في تثبيت الحاصرات. **تم في إحدى** الدراسات تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والمضادة للبكتيريا لِ لاصق مستخدم في تقويم الأسنان مضاف له جسيمات نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم المضاف إليه الكبريت $S - TiO_2$. تم تحليل التضاريس المورفولوجية باستخدام التصوير باستخدام المجهر الإلكتروني النافذ TEM والمجهر الإلكتروني الماسح SEM. تمت إضافة المادة النانوية بأربع تراكيز(1, 3, 6, 10 wt%) إلى لاصق تقويم أسنان تجاري ومن ثم تم تقييم قوة الترابط القصي ومدى صلابة هذا اللاصق التقويمي القائم على الراتنج والمواد النانوية. كما تمت دراسة التأثير المثبط ضد البكتيريا لهذه المادة اللاصقة ومقارنتها بتأثير المواد اللاصقة النقية (الشكل6).



الشكل6: مقارنة ما بين استخدام لاصق تقويمي نانوي يمنع نمو البكتيريا (يميناً)، ولاصق تقويمي عادي لا يمنع نمو البكتيريا (يساراً).

تم جمع خمسة عشر سن مستخرجة من مسلخ محلي، حيث تم خلع الأسنان خلال يوم واحد وتخزينها في محلول الكلورامين للتطهير. تم رفض الأسنان التي بها شقوق وأسطح ميناء تالفة. تم تنظيف الأسنان المستخدمة في الدراسة باستخدام فرشاة الأسنان، وتطهيرها، وشطفها بالماء، وتجفيفها بالهواء، ثم معالجتها بالحامض لإزالة الشوائب من الطبقة السطحية للسن والذي يؤثر بدوره إيجابياً على قوة التصاق المادة اللاصقة، وذلك بفضل تكوين تضاريس دقيقة غير منتظمة على سطح السن تساعد على تثبيت المادة اللاصقة. لاحقاً تم تثبيت الحاصرات على ميناء الأسنان باستخدام اللاصق المعالج بواسطة الأشعة فوق البنفسجية، حيث وُضعت موازية للمحور الطولي للسن، وضغطت على ميناء الأسنان لتثبيتها بشكل نهائي. صُلبت المادة

اللاصقة باستخدام مصباح LED (450nm) لمدة $180s$. تم تخزين العينات الأربع من اللاصق في الماء المقطر عند درجة حرارة $27C^{\circ}$ لمدة 24 ساعة، ثم خضعت لاختبار قوة الترابط القصي باستخدام جهاز خاص بهذه القياسات الميكانيكية، حيث تم وصل أحد طرفي سلك تنغستن (غير قابل للتمدد) بالجهاز والطرف الثاني تم تثبيته في الحاصرة المثبتة على السن المدروس. يقوم الجهاز بتطبيق قوة قص عند مقدمة الحاصرة. تم تسجيل القراءات باستخدام جهاز كمبيوتر متصل بالجهاز وتم إخضاع النتائج للتحليل الإحصائي.

لقياس صلابة فيكرز، تم تصنيع عينات من اللاصق المدروس على شكل أقراص بقطر $5mm$ وطول $4mm$ في قالب من الألومنيوم ومن ثم تم معالجتها ضوئياً لمدة $80s$ من كل طرف. أُزيلت العينات بعد ذلك من القالب وصُقلت. في النهاية تم قياس الصلابة بتطبيق قوة قدرها $0.245\ N$ لمدة 15 دقيقة.

يبين الجدول2 قيمة قوة الترابط التي تم الحصول عليها باستخدام المادة للاصقة النقية وباستخدام المادة اللاصقة المعدلة نانوياً بتراكيز مختلفة، حيث تراوحت ما بين القيم التالية $4.49 \mp 0.25\ to\ 1.11 \mp 0.27$ MPa. تم تسجيل أعلى قيمة لقوة الترابط عند استخدام اللاصق التقليدي النقي، مقارنةً بجميع أنواع العينات الأخرى المعالجة نانوياً. كما لوحظ انخفاض واضح في قيمة القوة SBS (قوة الترابط القصي-مدى قدرة المادة اللاصقة على مقاومة القوى التي تحاول الانزلاق أو سحب الأسطح الملتصقة جانباً) مع ازدياد تركيز $S - TiO_2$ في العينات.

الجدول2: قوة الترابط باستخدام المادة اللاصقة النقية وباستخدام المادة النانوية.

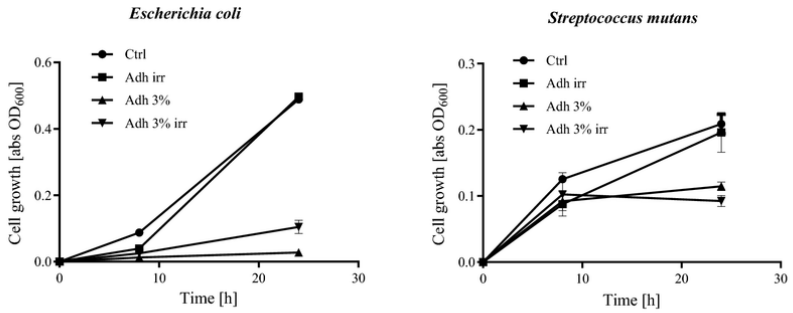
Sample	Mean (Mpa)
Pure adhesive	$\mathbf{4.49 \mp 0.25}$
Adhesive with 1% S-TiO2	4.26 ∓ 0.19
Adhesive with 3% S-TiO2	3.62 ∓ 0.05
Adhesive with 6% S-TiO2	2.14 ∓ 0.21
Adhesive with 10% S-TiO2	1.11 ∓ 0.27

تعتمد قيمة قوة التصاق الحاصرات التقويمية على العديد من المتغيرات كمادة وبنية سطح الحاصرة بالإضافة إلى نوع المادة المستخدمة ناهيك عن الحالة الصحية لميناء الأسنان. بينت بعض الأبحاث أن إضافة ما يصل إلى 1% من ثاني أكسيد التيتانيوم إلى لاصق تقويم الأسنان أمر مقبول، لأن تجاوز هذا الحد سيؤدي إلى انخفاض قيم القوة.

تم زراعة سلالات من البكتيريا، كالإشريكية القولونية $PCM\ 2209$ والعقدية الطافرة $PCM\ 2502$ في وسط مغذ عند درجة حرارة $37C^{\circ}$. تم وضع لاصق التقويم (النقي) واللاصق النانوي $(S - TiO_2)$ بمعدل $80\mu g$ في صفيحة مكونة من 24 خلية (24-well plate). ومن ثم تم تعقيمها بواسطة الإيثانول وغسلها بواسطة الماء المقطر وتجفيفها جيداً قبل التطعيم بالمعلقات

البكتيرية بمعدل ($105\ cell/ml$)، تضمنت الصفيحة خلايا سلبية (وسط نقي) وخلايا إيجابية (وسط ملوث بالبكتيريا). تم مراقبة نمو البكتيريا خلال 24 ساعة.

تم تقييم التأثير المضاد للبكتيريا للمادة اللاصقة المعدلة نانوياً بنسبة 3% من $S-TiO_2$. يوضح الشكل7 تأثير المادة اللاصقة النقية والمضاف إليها جسيمات نانوية على مجموعات الخلايا البكتيرية. بعد إضافة 3% من $S-TiO_2$ إلى المادة اللاصقة، تم ملاحظة تثبيط نمو سلالتين من البكتيريا تم اختبارهما.



Adhesive	Cell population reduction after 24 h compare to control (%)	
	Escherichia coli	*Staphylococcus aureus*
Adh irr	0	6,1 ± 4,8
Adh 3%	75,6 ± 2,9	45,1 ± 3,1
Adh 3% irr	94,3 ± 1,2	55,8 ± 4,0

الشكل7: تثبيط نمو الخلايا البكتيرية (الرسوم البيانية) ونسبة انخفاض أعداد البكتيريا (الجدول) بعد إضافة ثاني أكسيد التيتانيوم إلى المادة اللاصقة. القيم المعروضة هي متوسط تجربتين مستقلتين.

بشكل عام، أظهر اللاصق المضاف إليه $S-TiO_2$ قدرة عالية على تثبيط سلالات بكتيرية من E. coli وS. mutans مقارنةً بالمواد النقية.

تم إضافة العديد من المكونات المضادة للميكروبات إلى اللاصق لتطهير المنطقة لفترة طويلة مثل الدوديسيلامين والبيبيريدين ومشتقات حمض التانيك والبولي هكسانيد والفضة. علاوةً على ذلك، فإن الاستخدام الواسع النطاق لجسيمات الفضة النانوية في الحياة اليومية يثير المخاوف بشأن الصحة العامة. تتميز جسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية بأنها غير سامة، وغير مكلفة، ومتوافقة حيويًا، وقابلة لإعادة الاستخدام، ومستقرة كيميائياً، كما تتميز بخصائص مضادة للميكروبات.

Best of luck my dears...