

كيف تقاوم البكتيريا الفيروسات؟

Madeline Clyne and Jeeyon Jeong*

Department of Biology, Amherst College, Amherst, MA, United States

المراجعون الصغار:

AUDREY hi 
العمر: 14

CAROLINE 
العمر: 15

CHLOE hi 
العمر: 15

EMMA 
العمر: 15

LILLY 
العمر: 14

NATALIE 
العمر: 15

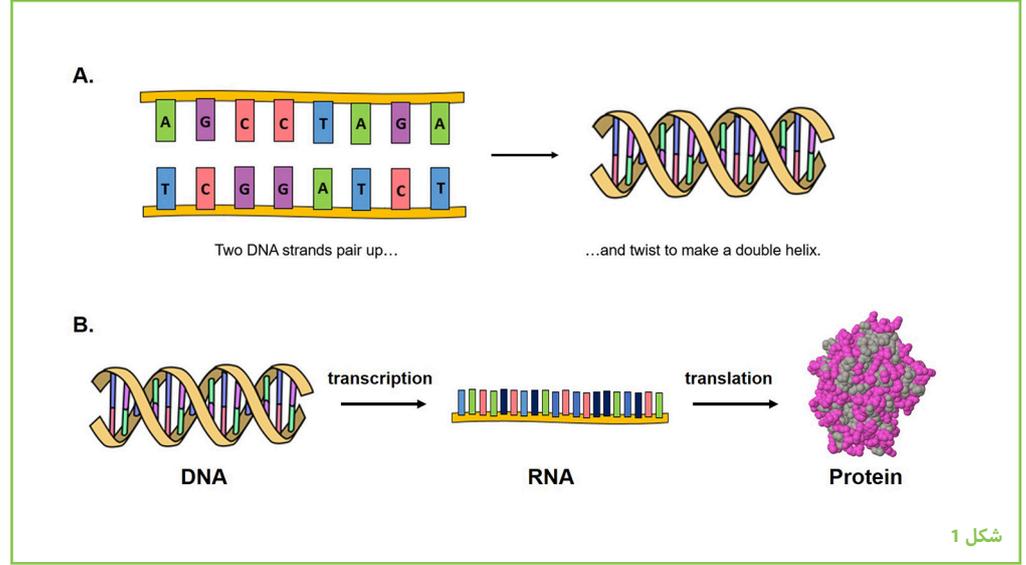
تُعد حرب البكتيريا ضد الفيروسات إحدى أقدم الحروب على وجه الأرض. يحتاج بعض الفيروسات لنقل العدوى إلى البكتيريا من أجل التكاثر، لكن البكتيريا لا تريد انتقال العدوى إليها. كيف تضمن البكتيريا التي نجت من عدة محاولات لنقل العدوى الفيروسية أن ذلك لن يحدث مجددًا؟ طُورت عدة أنواع من البكتيريا تقنية تُسمى كريسبر أو التكرارات العنقودية المتناظرة القصيرة منتظمة التباعد (بالإنجليزية: CRISPR)، تساعد على تذكر الفيروسات التي قاومتها من قبل. كما تسمح تقنية كريسبر للبكتيريا بمنع الفيروسات من تدميرها. على الرغم من أن البشر لا يمتلكون تقنية كريسبر في خلاياهم، فإنهم ابتكروا بعض الأساليب المشوقة لاستخدامها في المختبرات.

البكتيريا ضد الفيروسات: أعنف حرب مجهرية على الإطلاق

ربما سمعت عن بكتيريا وفيروسات تسبب أمراضًا تصيب الإنسان، وربما تعرف كيفية مكافحة البشر للبكتيريا باستخدام المضادات الحيوية وكيف تمنع العدوى البكتيرية والفيروسية باستخدام اللقاحات. لكن البكتيريا والفيروسات أيضًا تقاوم بعضها البعض منذ زمن طويل جدًا، ودراسة

شكل 1

تركيبية الحمض النووي وكيفية تكوين البروتينات من الحمض النووي. (A) سلسلة من الحمض النووي تتكون من تسلسل من الجزيئات (A و T و C و G) وتلتفان حول بعضها البعض لتكوين شكل يُسمى اللولب المزدوج. (B) لكي يتكون البروتين، يمر جزيء الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA) بعملية تُسمى الاستنساخ لتكوين جزيء الحمض النووي الريبوزي (RNA). ثم يستخدم الحمض النووي الريبوزي العمليات الخلوية لتكوين البروتين في عملية تُعرف باسم الترجمة.



شكل 1

أسلوب قتالها علمتنا الكثير حول كيفية تعيّر الكائنات الحية بمرور الوقت وقادتنا إلى اكتشاف أداة بحثية في غاية الإثارة.

تدور المعركة بين البكتيريا والفيروسات حول القدرة على التكاث. تتكاثر البكتيريا والفيروسات عن طريق استنساخ نسخ متطابقة من بعضها البعض، ويحتوي الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA) على التعليمات اللازمة لإتمام هذه العملية.

الحمض النووي الريبوزي

منقوص الأكسجين

(DNA)

الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA)، وهو عبارة عن جزيء طويل يتكون من تركيب من أربعة جزيئات أصغر (A و T و C و G).

اللولب المزدوج

(DOUBLE HELIX)

شكل الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA) عندما تتجمع سلسلتان تكمليتان من الجزيء وتلتفان حول بعضهما البعض.

الجينات

(GENES)

هي قطع من سلاسل الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA) تحتوي على معلومات بناء البروتين.

البروتين

(PROTEIN)

مجموعة من الجزيئات الكبيرة ذات تركيب معقد مسؤولة عن الكثير من الأنشطة الخلوية.

فك شفرة الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA)

عبارة عن جزيء طويل يتكون من أربعة جزيئات أصغر: أدينين، وثايمين، وجوانين، وسائتوسين واختصاراتها (A، T، و G، و C) (انظر الشكل 1). يُمكن أن ترتبط الجزيئات A، T، و C، و G معًا بترتيبات مختلفة لتكوين سلسلة طويلة. وتعمل هذه التركيبة المحددة من هذه الجزيئات الأربعة بمثابة شفرة. لن تتمكن سلسلة حمض نووي ريبوزي منقوص الأكسجين (DNA) وحيدة من البقاء طويلًا في الخلية، لذا تقترن السلاسل معًا وفقًا لقواعد محددة. إذ لا تتمكن جزيئات A من الاقتران إلا مع جزيئات T، ولا تتمكن جزيئات C من الاقتران إلا مع جزيئات G، لذا ينتهي الأمر بسلسلتين تقابلان بعضهما وتكمل سلسلتا الحمض النووي بعضهما بعضًا. وتلتف السلسلتان حول بعضهما لتكوين هيكل يُسمى اللولب المزدوج.

بعض أجزاء الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (DNA) تُسمى الجينات، وتحتوي على تعليمات بناء البروتينات (انظر الشكل 1). البروتينات هي الجزيئات الأساسية التي تتولى تنفيذ المهام في الخلية. تساعد البروتينات في تحويل الغذاء إلى طاقة، وتحرك الأشياء داخل الخلايا وفيما بينها، كما تساعد الخلايا على التواصل مع بعضها. كما تساعد الخلايا على التواصل فيما بينها. الجينات التي تنتجها البروتينات والوظائف التي تؤديها توضح لنا كيف أن الصفات الجسدية تنتج عن الجينات مثل لون العين ونوع الشعر سواء أملس أم مجعد.

وبالرغم من ذلك فإن الكثير من أجزاء حمضنا النووي لا تمثل في الواقع جينات. فكثير من تلك الأجزاء الأخرى من الحمض النووي تساعد الخلية في تحديد الوقت المناسب لتكوين بروتين معين، والمقدار المطلوب تكوينه من هذا البروتين.

لكن ما علاقة الحمض النووي بالطفرات؟

الآن نعرف أن الحمض النووي يحتوي على معلومات بناء البروتين، لذا يمكننا التفكير في الآلية التي تسمح لبكتيريا أو فيروس باستنساخ نفسه. لكي تتمكن البكتيريا من استنساخ نفسها، فإنها تحتاج إلى تكوين بروتينات وجزئيات كافية لخلية أخرى، وتنسخ حمضها النووي لكي تحتوي الخلية الجديدة على المعلومات التي تحتاجها، كما أنها تحتاج إلى أن تصبح أكبر ثم تنقسم. وفي المقابل، الفيروس أبسط كثيرًا، فما هو إلا قليل من الحمض النووي (DNA) في قشرة بروتينية. تمتلك البكتيريا والفيروسات على حد سواء تعليمات ببناء جميع البروتينات التي ستساعد في إنجاز جميع مهمات الاستنساخ. لماذا إذن تحارب البكتيريا الفيروسات؟

ينقصنا جزء مهم من هذه القصة، كيف يتكون البروتين؟ يتكون البروتين بمساعدة جزيء يُسمى **الحمض النووي الريبسي (RNA)**. الحمض النووي الريبسي (RNA) مشابه إلى حد كبير للحمض النووي، لكنه يحتوي على سلسلة واحدة فقط. يمكن لبروتينات خاصة أن تُخلَق (أو تنسخ) نسخ الحمض النووي الريبسي (RNA) من جينات يمكن 'قراءتها' بواسطة آلية خلوية تترجم شفرة الحمض النووي الريبسي (RNA) وتتولى عملية بناء البروتين (انظر الشكل 1). يمكنك التفكير في الفرق بين الحمض النووي والحمض النووي الريبسي (RNA) على هذا النحو: الحمض النووي مثل كتيب تعليمات، أو دليل عمل أو كتاب طهي. لا يمكن تعديل النسخة الأصلية منه، لكن إذا أراد أحد ما تغيير شيء معين في تلك التعليمات، فعليه نسخ بروتينات صغيرة وإرسالها حيث يمكن تكوين المنتج من مواد مناسبة. وتلك هي وظيفة الحمض النووي الريبسي (RNA). هذه هي الخطوة الانتقالية للحمض النووي الريبسي (RNA) التي تسبب مشكلات للفيروسات والبكتيريا. البكتيريا لديها التعليمات والأدوات لتكوين البروتينات، لكن الفيروسات لديها التعليمات بلا أدوات.

والطريقة التي تعوض بها الفيروسات ذلك هي اختطاف بكتيريا واستخدام أدواتها (انظر الشكل 2). يهبط هذا النوع من الفيروسات على البكتيريا من الخارج ويلتصق بها ثم يحقن الحمض النووي الخاص به بداخلها. إذا لم تدرك البكتيريا أن هذا الحمض النووي الفيروسي ليس حمضها النووي، فستتبع البكتيريا تعليمات الحمض النووي الفيروسي وتنتج فيروسات أكثر. ستنتج البكتيريا نسخًا من الحمض النووي الفيروسي وكثيرًا من البروتينات الفيروسية وستسمح للفيروسات الجديدة بالتجمع داخل البكتيريا. أخيرًا، تنتفخ البكتيريا بفعل الفيروسات وتنفجر لتخرج الفيروسات وتنقل حمضها النووي إلى بكتيريا أخرى [1].

معظم البكتيريا التي يصيبها فيروس لم تره من قبل قط ستموت. ومع ذلك بين الحين والآخر لا تموت البكتيريا بعد الإصابة بعدوى فيروسية. وقد يحدث ذلك بسبب طفرة في الحمض النووي لتلك البكتيريا. **الطفرات** عبارة عن تغيرات في تسلسل الحمض النووي للجين، مثل أخطاء صغيرة، وتحدث الطفرات طوال الوقت في البكتيريا عند نسخ حمضها النووي للجين التالي. يتسبب بعض هذه الأخطاء في قتل البكتيريا، لذا لا يتسنى لها فرصة نقل الطفرة إلى الجيل القادم. بالرغم من ذلك، قد تنتقل طفرات أخرى دون أن تتم ملاحظتها، حتى تُصاب البكتيريا بفيروس آخر. فجأة نكتشف أن الطفرة في الواقع تساعد البكتيريا في مكافحة الفيروس. والبكتيريا القليلة المحظوظة التي تحظى بهذه الطفرة النافعة هي التي تنجو لتتكاثر، وتنقل تلك الطفرات المفيدة إلى سلالتها.

وتتكاثر تلك السلالات بدورها وتصبح الطفرة المفيدة في النهاية موجودة في معظم البكتيريا الموجودة. وإنتاج نسخة جديدة مفيدة من الجين في مجموعة كاملة من البكتيريا هو أحد أمثلة التطور.

الحمض النووي الريبسي (RNA)

الحمض النووي الريبسي (RNA) هو جزيء وحيد معزول من جزيئات A وجزيئات G وجزيئات C وجزيئات U. يؤدي الحمض النووي الريبسي (RNA) دور الرسول بين الحمض النووي والعملية الخلوية المسنولة عن تكوين البروتينات، لكن له وظائف أخرى أيضًا.

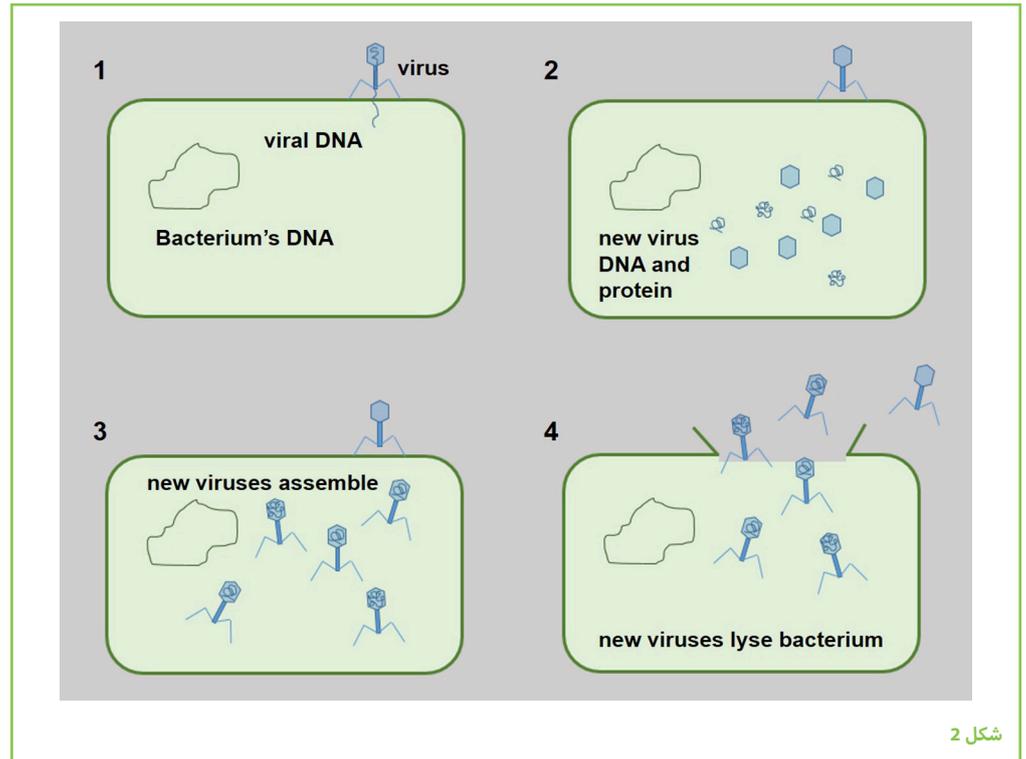
الطفرات

(MUTATION)

هي التغيير الذي يحدث لكائن حي في سلسلة الحمض النووي مثل إضافة جزيئات A أو C أو T أو G، أو تبديل أحدها، أو حذفه.

شكل 2

كيف يتكاثر الفيروس؟ الخطوة 1: يلتصق الفيروس بالبكتيريا من الخارج ويحقن الحمض النووي الخاص به بداخلها. الخطوة 2: تُنتج البكتيريا الحمض النووي الفيروسي والبروتين الفيروسي الجديد. الخطوة 3: تتجمع فيروسات جديدة داخل البكتيريا. الخطوة 4: تخرج الفيروسات الجديدة خارج البكتيريا وتصيب بكتيريا أخرى.



كريسبر: دفاع البكتيريا عن نفسها عن طريق تذكر الفيروسات

في هذه المرحلة، قد تتساءل كيف تبدو مقاومة الفيروسات في البكتيريا، وهنا يأتي دور كريسبر (انظر الشكل 3). يرمز مصطلح "كريسبر" إلى التكرارات العنقودية المتناظرة القصيرة منتظمة التباعد. يبدو هذا معقدًا للغاية، لكنه في الواقع مجرد وصف لبعض المناطق الخاصة في الحمض النووي للبكتيريا. في هذه المناطق، يوجد نوعان من تسلسلات الحمض النووي المتناوبة وهي: التكرارات والفواصل. التكرارات هي نفس المجموعة من الحروف (التي ترمز إلى الجزيئات المكونة للحمض النووي) والتي تتكرر مرة بعد مرة، لكن الفواصل بينها مختلفة تمامًا.

عندما اكتشف العلماء تلك المناطق في الحمض النووي لأول مرة، لم يكونوا متأكدين من فرضياتهم. لكن سرعان ما أدركوا أن الفواصل كانت غالبًا مشابهة إلى حد كبير للحمض النووي الفيروسي. إذن فالسؤال هنا: من أين يأتي هذا الحمض النووي الفيروسي؟ هل يمكن أن يساعد كريسبر البكتيريا على اكتشاف الفيروسات ومقاومتها؟

في عام 2007، قرر رودولف بارانجو (Rodolphe Barrangou) ومختبره دراسة هذه الفكرة (حقيقة طريفة: عمل بارانجو لدى شركة متخصصة في إنتاج الزبادي! حيث يتطلب إنتاج الزبادي استخدام بكتيريا وفي بعض الأوقات تقضي الفيروسات على هذه البكتيريا. وكان من مصلحة الشركة أن تعرف كيف تحمي البكتيريا نفسها من الفيروسات [2]). وعندما قارن رودولف بارانجو منطقة كريسبر الموجودة في نوع واحد من البكتيريا غير المقاومة للفيروسات بتلك الموجودة في بكتيريا أخرى مقاومة للفيروسات من نفس النوع، ووجد أن الفرق الوحيد بينهما هو أن البكتيريا المقاومة للفيروسات تحتوي على بعض الفواصل الإضافية. ومن ثم قرر إجراء تجربة لمعرفة مصدر هذه الفواصل الإضافية.

كريسبر (التكرارات العنقودية

المتناظرة القصيرة

منتظمة التباعد)

CRISPR

(CLUSTERED REGULARLY

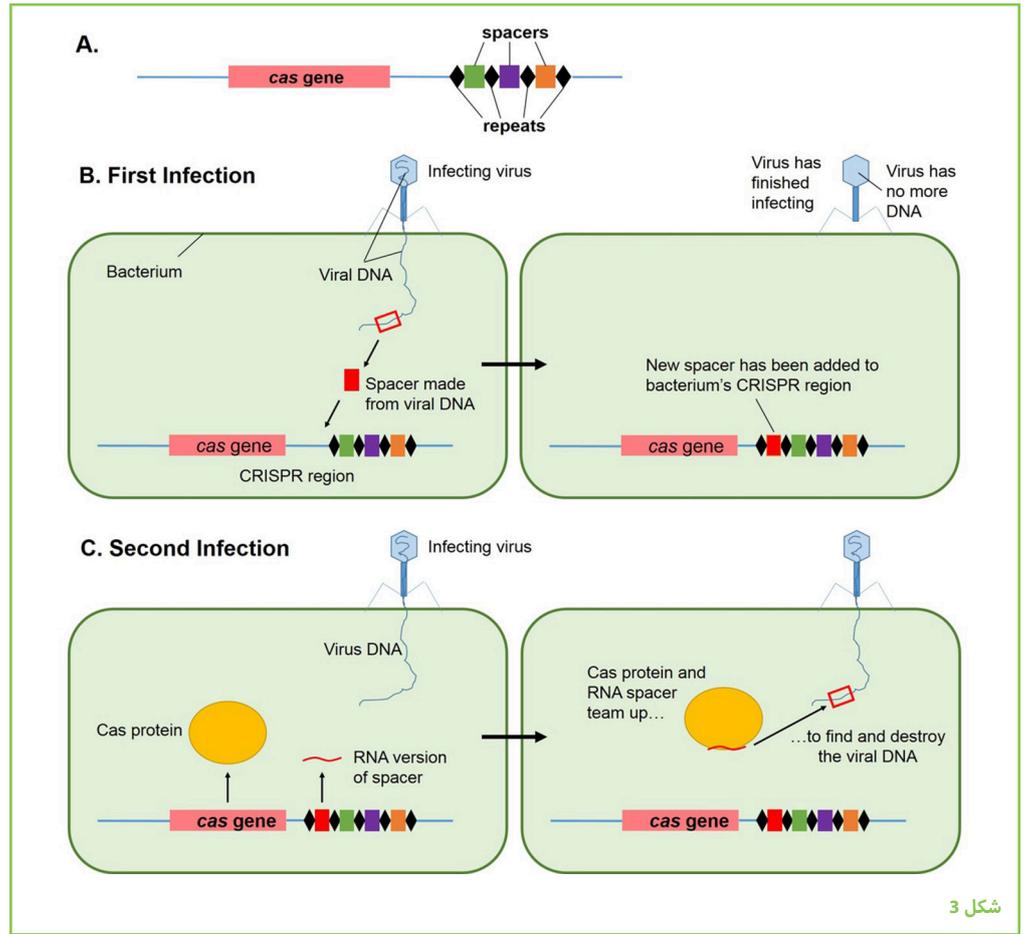
INTERSPACED

PALINDROMIC REPEATS)

يطلق هذا الاسم على منطقة خاصة من التسلسل الجيني للبكتيريا الذي يحتوي على فواصل منتظمة وتسلسلات متكررة. كما يُطلق هذا الاسم على العملية التي تدافع من خلالها البكتيريا عن نفسها ضد العدوى الفيروسية وعلى تقنية تستخدم داخل المختبر تسمح بتعديل الجينات.

شكل 3

ما هي تقنية كريسبر أو التكرارات العنقودية المتناظرة القصيرة منتظمة التباعد (CRISPR) وكيف تعمل؟ (A) بنية التكرارات العنقودية المتناظرة القصيرة منتظمة التباعد تتكون من أجزاء قصيرة من الحمض النووي تسمى التكرارات والفواصل مرتبة في نمط متناوب. جميع هذه التكرارات (والمتمثلة في الصورة على شكل ماس أسود) متشابهة، ولكن جميع الفواصل (والمتمثلة في الصورة على شكل مستطيلات ملونة) غير متطابقة مع بعضها. نجد أيضًا جينات مجاورة لكريسبر معروفة باسم الجينات المرتبطة بكريسبر (Cas genes). (B) في الإصابة الأولى يتم نسخ تسلسل قصير من الحمض النووي الفيروسي لكي يشكل فاصلًا جديدًا. يتم دمج هذا الفاصل الجديد إلى كريسبر (C) في الإصابة الثانية، تنتج البكتيريا حمضًا نوويًا ريبوسوميًا من منطقة كريسبر، ويوجه هذا الحمض النووي الريبوسومي (البروتين المرتبط بكريسبر) إلى الحمض النووي الفيروسي ويدمر بروتين Cas (البروتين المرتبط بكريسبر) هذا الحمض النووي الفيروسي.



شكل 3

في بادئ الأمر، عرضوا البكتيريا غير المقاومة للفيروسات للفيروس إلى أن أصبحت البكتيريا مقاومة للفيروس. وعندما قارنوا بين مناطق كريسبر في البكتيريا حديثة المقاومة للفيروسات والبكتيريا غير المقاومة وجدوا أن هناك عادة من واحد إلى أربعة فواصل في البكتيريا المقاومة للفيروسات وأن هذه الفواصل مطابقة للحمض النووي الخاص بالفيروس الذي قد تعرضت له البكتيريا. وعليه اعتقد الباحثون أن هذه الفواصل قد تكون مكونة من الحمض النووي الفيروسي.

أجرى رودولف بارانجو ومختبره بعض التعديلات حيث قاموا بإزالة وإضافة العديد من الفواصل التي تتطابق مع الفيروسات المختلفة، ووجدوا أنه عند إزالة الفواصل من البكتيريا المقاومة للفيروس، تفقد هذه البكتيريا خصائص مقاومتها للفيروس المطابق، وعند إضافة فواصل تصبح البكتيريا مقاومة للفيروس حتى وإن لم تتعرض لهذا الفيروس من قبل. استنتج رودولف بارانجو ومختبره من ذلك أن الفواصل في مناطق كريسبر توفر مقاومة ضد الفيروسات عن طريق حفظ بعض من الحمض النووي الفيروسي مما يساعد البكتيريا على "تذكر" هذه الفيروسات [3].

تنشأ مقاومة الفيروس (المناعة) استجابة للإصابة. ولا تنتقل (تورث) المناعة التي تنشأ في البكتيريا عادة إلى سلالاتها، لكن يمكنها الانتقال بفضل وجود كريسبر، ويرجع ذلك في الواقع إلى كون المناعة "مشفرة" في الحمض النووي الذي ينتقل عبر الأجيال [4].

منذ أن قام رودولف بارانجو بأول تجربة حول كريسبر، توصلنا إلى العديد من الأمور حول كيفية التي يعمل بها كريسبر لمنع الفيروسات من تدمير الخلية. تأخذ البكتيريا جزءاً من الحمض النووي الفيروسي وتضيفه إلى منطقة كريسبر من الحمض النووي الخاص بها. إذا هاجم الفيروس البكتيريا

مرة أخرى، فإن البكتيريا تصنع حمضًا نوويًا ريبوسيًا من منطقة كريسبر خصيصًا لهذا الفيروس. ثم تقترن هذه النسخ من الحمض النووي الريبي مع بعض بروتينات "كاس" (البروتينات المرتبطة بكريسبر)، ويوجه الحمض النووي الريبي البروتينات المرتبطة بكريسبر لمهاجمة الحمض النووي الفيروسي لكي تتمكن البروتينات من تدميره. عدم وجود حمض نووي فيروسي يعني عدم وجود فيروسات جديدة. تتحد هذه النسخ من الحمض النووي الريبوزي مع بعض البروتينات المكونة بواسطة الجينات المرتبطة بكريسبر (جينات كاس).

الجينات المرتبطة بكريسبر (CAS GENES)

الجينات المرتبطة بكريسبر هي جينات مجاورة لمواقع كروموسومات كريسبر للفواصل والتكرارات، والجين (cas9) هو أحد هذه الجينات المرتبطة بكريسبر.

خارج نطاق البكتيريا: كريسبر في المختبر

عندما تم اكتشاف هذه الآلية سرعان ما أدرك العلماء أن تقنية كريسبر قد يكون لها العديد من الاستخدامات المفيدة في المختبر [2]. اكتشف العلماء أنه يمكن تزويد أحد البروتينات المرتبطة بكريسبر بنسخة الحمض النووي الريبي (RNA) من أي جزء يرغبون في إيجاده من الحمض النووي الريبوزي (DNA)، وسينتقل هذا البروتين بمساعدة الحمض النووي الريبي إلى هذا الجزء ويحدث تغييرات فيه. يمكن للبروتينات المرتبطة بكريسبر تغيير حرف واحد (نوكليتيد) وعادة ما يكون ذلك كافيًا لتعطيل عمل جين أو يمكن للبروتينات المرتبطة بكريسبر التخلص من الجين بالكامل أو جزء منه.

يجعل ذلك من كريسبر أداة لا مثيل لها في علم الوراثة، وهو العلم المعني بدراسة السمات الوراثية، حيث إن إحدى طرق اكتشاف علماء الوراثة لكيفية عمل الجين هي إبطال عمله أو التخلص منه وملاحظة التغييرات التي تطرأ على الكائن الحي نتيجة ذلك. وقد جرت هذه التجارب لعدة سنوات، ولكن تقنية كريسبر تتيح لنا إجراء ذلك بشكل أسرع وأكثر دقة من أي وقت مضى.

كما أنه من الممكن استخدام كريسبر في تصحيح الطفرات الضارة التي تسبب الأمراض للإنسان، ولكن يثير هذا الأمر بعض التساؤلات الأخلاقية المهمة. متى يمكننا أن نقرر الوقت المناسب لاستخدام هذه التقنية؟ وهل من المقبول إجراء تغييرات جينية يمكن أن تنتقل إلى فرد بالوراثة وهو لم يوافق على هذه التغييرات؟ ما زال أمامنا طريق طويل لتجربة كريسبر على الإنسان، ولكن من المهم طرح هذه الأسئلة عاجلاً وليس آجلاً.

إسهامات المؤلف

كتبت MC هذه المسودة البحثية وقدمت جميع الأشكال فيها. وأشرفت لى على العمل وأبدت تعقيباتها على هذه المسودة البحثية في جميع المراحل. راجعت كلتا المؤلفتين المسودتين البحثية النهائية.

المراجع

1. Salmond, G. P. C., and Fineran, P. C. 2015. A century of the phage: past, present and future. *Nat. Rev. Microbiol.* 13:777–86. doi: 10.1038/nrmicro3564
2. Zimmer, C. 2015. Breakthrough DNA Editor Born of Bacteria. *Quanta Magazine*. Available online at: <https://www.quantamagazine.org/crispr-natural-history-in-bacteria-20150206/> (accessed November 26, 2017).

3. Barrangou, R., Fremaux, C., Deveau, H., Richards, M., Boyaval, P., Moineau, S., et al. 2007. CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes. *Science* 315:1709–12. doi: 10.1126/science.1138140
4. Barrangou, R., and Marraffini, L. A. 2014. CRISPR-Cas systems: prokaryotes upgrade to adaptive immunity. *Mol. Cell* 54:234–44. doi: 10.1016/j.molcel.2014.03.011

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 22 يناير 2021

Caroline Helen Brennan, Queen Mary University of London, **حرره:**
United Kingdom

الاقْتباس: Clyne M and Jeong J (2021) كيف تقاوم البكتيريا الفيروسات؟
Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2019.00002-ar

Clyne M and Jeong J (2019) How Do **مُترجم ومقتبس من:** Bacteria Fight Back Against Viruses? Front. Young Minds 7:2.
doi: 10.3389/frym.2019.00002

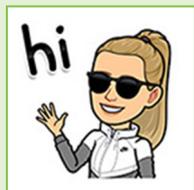
إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

COPYRIGHT © 2019 © 2021 Clyne and Jeong. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيّدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

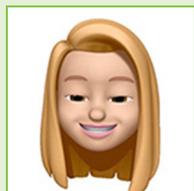
AUDREY, العمر: 14

أستمتع بقضاء اليوم بالخارج بين أحضان الطبيعة أمارس رياضي كرة القدم وكرة القدم الخماسية. يومي مشغول للغاية وأحب أن أظل نشيطة. أمل أن أصبح مهندسة معمارية في يوم من الأيام.



CAROLINE, العمر: 15

أحب ممارسة رياضات اللاكروس، والإبحار، والتزلج. كما أحب السفر والترحال. عندما أكبر، أمل أن أحصل على وظيفة في مجال الأعمال أو الطب.



CHLOE, العمر: 15

أنا طالبة في السنة الثانية، وأحب قراءة موضوعات عن العلوم كما أجري تجارب منذ صغري. أمل أن أصبح طبيبة في يوم من الأيام وأتخصص في طب الأطفال. أود أن أصبح طبيبة لأن والدتي هي من أهتمني خلال



عملها، فكل يوم أرى شخصاً ألهمته أو ساعدته. هواياتي لعب كرة القدم والمشاركة في سباق التزلج. ومادتي المفضلة في المدرسة هي الكيمياء.



EMMA، العمر: 15

أحب ممارسة الرياضة والخروج مع أصدقائي وأسرتي. من الرياضات المفضلة لي الجولف وكرة القدم. أحب السفر. من الأماكن المفضلة لي بوسطن في ماساشوستس، وكوبنهاجن في الدنمارك. أمتلك منزلاً ريفياً أحب قضاء الوقت فيه في فصلي الصيف والشتاء. أحب ركوب القوارب والذهاب إلى الشاطئ في فصل الصيف. كما أحب ممارسة رياضة التزلج في فصل الشتاء.



LILLY، العمر: 14

أستمتع بممارسة رياضات السباحة، واللاكروس، والتزلج بشكل كبير. أحب السفر ورؤية أماكن جديدة. علاوة على ذلك، أحب قضاء الوقت مع أصدقائي وأسرتي. حلمي أن أصبح طبيبة متخصصة في أمراض القلب.



NATALIE، العمر: 15

أحب مساعدة الغير كما أنني مشاركة في مؤسسة "أبحاث داء السكري لدى صغار السن" (Juvenile Diabetes Research Foundation)، كما أشارك أنا و Billy Bear Hug في الأعمال التي تقوم بها كنيسة. أحب قضاء الوقت مع أصدقائي وأسرتي. كما أنني أحب ممارسة رياضات التزلج، والجولف، واللاكروس. أمارس جميع هذه الرياضات في مدرستي وأستمتع بممارسة هذه الرياضات كثيرًا. أمل في يوم ما أن أحصل على وظيفة تنطوي على مساعدة الآخرين.

المؤلفون



MADELINE CLYNE

تخرجت حديثاً من كلية أميرست (Amherst College). حيث درست علم الوراثة الجزيئية. أهتم بصفة خاصة بالكيفية التي تتحكم بها الخلايا بالتعبير عن الجينات. أجريت بحثاً في كلية أميرست حول الكيفية التي توازن بها النباتات بين كمية الحديد الذي تجمعه وتخزنه وتستخدمه. يملكني الشغف حول التواصل العلمي، وفي أوقات فراغي أحب الرقص والعزف على آلة الكمان.



JEEYON JEONG

أستاذة مادة الأحياء في كلية أميرست (Amherst College). أعمل على تدريس مادة الكيمياء الحيوية وعلم الوراثة الجزيئية، كما أدرس الجينات والبروتينات التي تساعد النباتات في الحصول على الحديد واستخدامه. بالإضافة إلى قيامي بالأبحاث والتدريس، أحب قضاء الوقت مع أطفال والذهاب إلى الحفلات-حيث أستمتع كثيرًا بموسيقى الصالونات، وموسيقى المسرحيات الغنائية. *jjeong@amherst.edu

جامعة الملك عبدالله
للعلوم والتقنية
King Abdullah University of
Science and Technology



النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by