الصحة
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 22 يناير 2021
doi: 10.3389/frym.2018.00037-ar

الحمض النووي الخردة والسرطان: ما سر الأهمية الكبرى للأجزاء غير الضرورية الموجودة في خلاياك

Anna M. Rose *

Department of Genetics, UCL Institute of Ophthalmology, University College London, London, United Kingdom

يوجد الحمض النووي في كل خلية داخل جسمك، ويقوم بعض منه بتزويد الجسم بالتعليمات اللازمة لإنتاج البروتينات. ولكن بالرغم من ذلك، ثمة الكثير من الحمض النووي الذي لا ينتج البروتين والبعض يطلق على هذا النوع من الحمض النووي اسم "الحمض النووي الخردة (غير المُشفّر)". أظهرت دراسة بحثية حديثة أن وجود تباين (الاختلاف بين الأشخاص) في جزء معين من الحمض النووي الخردة ربما يزيد من خطر الإصابة بالسرطان. وعليه تقصى العلماء أحد أنواع الحمض النووي الخردة يُسمى تكرارات الجين MSR1، وأوضحوا أن تكرارات الجين MSR1 تكون ملتصقة بنهاية الجينات المسببة للسرطان مكونة "ذيول"، وتزيد الذيول القصيرة منها من خطر الإصابة بسرطان الثدي وسرطان البروستاتا. وهذا اكتشاف مثير للاهتمام، لأنه ربما يسمح لنا بتشخيص السرطان على نحو أفضل وعلاجه بطريقة أكثر فاعلية.

يوجد داخل كل خلية من خلايا الجسم جزيء طويل ونحيف يُسمى **الحمض النووي**، وهو عبارة عن دليل التعليمات الشخصية الخاص بك؛ فهو يخبر جسمك بكل شيء يحتاج إلى معرفته! يحدد الحمض النووي لون عينيك، ولون بشرتك، وطولك، وحتى ما إذا كانت عضلاتك أفضل في العدو أو الركض في سباقات الماراثون، أم لا. تعتبر التعليمات الموجودة في الحمض النووي مكتوبة بسلسلة من الحروف، تمامًا مثل دليل التعليمات الحقيقي حيث يوجد في الحمض النووي أربعة حروف فقط، A، وT، وG، وC، وتندمج تلك الحروف مع بعضها البعض لصياغة التعليمات **للبروتينات**. البروتينات هي وحدات بناء الخلايا حيث يتكون مخك، وقلبك، وجميع الأعضاء الأخرى من العديد

المراجعون الصغار:

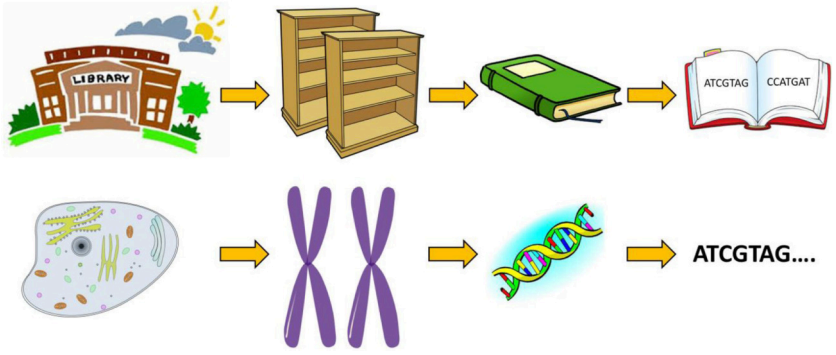
ISABELLE
العمر:13

الحمض النووي (DNA)

هو حرف يُكوّن الشفرة الجينية لدى الإنسان، يمكن أن يكون A أو T، أو G، أو C.

البروتين (PROTEINS)

هو الوحدات البنائية لكل خلية في جسمك.



شكل 1

يمكنك أن تتخيل أن كل خلية مثل المكتبة. يوجد في المكتبة 23 زوجًا من خزانات الكتب؛ وفي الخلية يوجد 23 زوجًا من الكروموسومات. وعلى أرفف خزانات الكتب يوجد كتب، ويمثل كل كتاب جينًا. يوجد بالمكتبة نسختان من كل كتاب، لأن خزانات الكتب توجد في أزواج، أتتذكر! توجد الحروف A، وT، وC، وG داخل الجينات بتركيبات مختلفة تحتوي على تعليمات تكوين بروتين معين.

من البروتينات المختلفة. يُشار إلى حروف الحمض النووي اللازمة لتكوين بروتين واحد باسم "**الجين**". هل يمكنك تخمين عدد الجينات في جسم الإنسان؟

أكثر من 20 ألف جين!

هذا صحيح، في كل خلية داخل جسمك يوجد أكثر من 20 ألف جين؛ كل منها يحتوي على تعليمات خاصة بتكوين بروتين مختلف! تصطف الجينات لتكوين هياكل طويلة تُسمى **الكروموسومات**، وهي عبارة عن جزيئات ضخمة من الحمض النووي ملتفة حول بعضها البعض داخل الخلية بإحكام شديد، ويوجد 23 زوجًا من الكروموسومات داخل كل خلية بشرية. يمكنك رؤية العلاقة التي تربط بين الحمض النووي، والجينات، والكروموسومات والخلايا ببعضها البعض في الشكل 1.

الجينات هي شفرات سرية للبروتينات، لذا تُسمى أحيانًا "الحمض النووي المُشفّر"، وبالرغم من ذلك، يوجد الكثير من حروف الحمض النووي الأخرى بين الجينات لا تنتج بروتينات، وتُسمى "**الحمض النووي غير المُشفّر**" لأنها ليست جزءًا من الشفرة السرية للبروتين. اعتقد العلماء في الماضي أن الجينات هي الجزء الوحيد المهم في الحمض النووي. لذا، أطلقوا على الأجزاء غير المُشفّرة اسم "الحمض النووي الخردة" لأنهم اعتقدوا أنها أجزاء غير ضرورية! بعض أجزاء الحمض النووي الخردة مكررة بشكل كبير، حيث يتكرر تسلسل الحروف نفسه مرارًا وتكرارًا– ونطلق عليه اسم حمض نووي متكرر. نعم، أعرف، لا يتمتع العلماء بخيال واسع! انظر إلى الشكل 2 لترى كيف ينتشر الحمض النووي الخردة في وسط الجينات.

تباين الحمض النووي

هل استخدمت قاموس المرادفات من قبل؟ إنه نوع خاص من القواميس يخبرنا بالكلمات التي لها نفس المعنى أو معنى مشابه. على سبيل المثال، يمكنك البحث عن كلمة "كبير" في قاموس المرادفات، وربما تجد النتائج "ضخم، هائل، عملاق". أعتقد أنك ستتفق معي أن الجمل التالية جميعها صحيحة وتحمل نفس المعنى—حتى مع استخدام كلمة مختلفة في كل جملة:

تجلس القطة على سجادة متسخة.
تجلس القطة على سجادة قذرة.

الجين
(GENE)

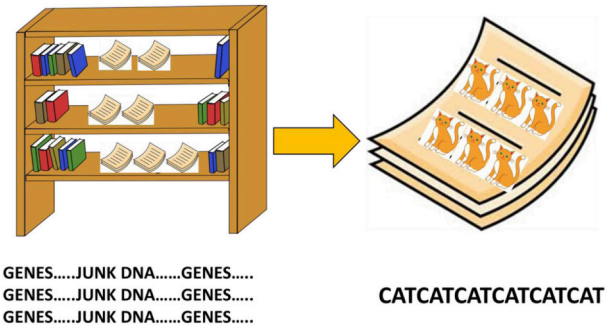
هو مجموعة من حروف الحمض النووي التي تصيغ التعليمات اللازمة لتكوين بروتين معين.

الكروموسوم
(CHROMOSOMES)

قطعة ضخمة من الحمض النووي موجودة في كل خلية من خلايا الجسم.

الحمض النووي غير المُشفّر
(NON-CODING DNA)

حروف الحمض النووي التي ليست جزءًا من أحد الجينات، لذا لا تتضمن تعليمات لتكوين البروتين.



شكل 2

يحتوي كل كروموسوم (رف كتب) على الكثير من الجينات (الكتب)، ويحتوي كل كتاب على الشفرة السرية لأحد البروتينات. ولكن الكتب (الجينات) ليست بجوار بعضها، حيث توجد أوراق مبعثرة بين الكتب. أحيانًا تكون الأوراق المبعثرة في مؤخرة الكتب؛ مثل الملحقات. تحتوي الأوراق المبعثرة على حروف الحمض النووي، لكنها ليست جزءًا من الشفرة السرية للبروتين. تشير مجموعة الأورق المبعثرة إلى "الحمض النووي الخردة". تتكرر بعض الكلمات الموجودة على الأوراق المبعثرة كثيرًا، مثل كلمة CAT مرارًا وتكرارًا! وهنا عندما تتكرر سلسلة من الحروف كثيرًا في **الجينوم**، نُطلق عليها "الحمض النووي المتكرر".

تجلس القطة على سجادة ملطخة بالطين.

يمكن أن يحدث نفس الشيء في الحمض النووي. هل تتذكر معلومة أن سلسلة الحروف التي تقوم بصياغة التعليمات اللازمة للجسم لتكوين بروتين واحد تُسمى الجين؟ تخيل أنك ترى حروف أحد الجينات في الكثير من الأشخاص المختلفة، ستكون في الغالب هي الحروف نفسها عند كل شخص، ولكن من حين لآخر، قد يُستخدم حرف مختلف، مثل استخدام كلمة بديلة من قاموس المرادفات! على سبيل المثال، إذا سلطنا الضوء على الجين المسؤول عن لون العين، فسنجد نسخة للعين الزرقاء، وأخرى للخضراء، وأخرى للبنية، وأخرى للرمادية. ولذلك نقول إنه قد تختلف الحروف قليلًا، لكنها جميعًا نسخًا صحيحة من الجين، ونطلق على تلك الاختلافات الطبيعية البسيطة "**التباين الطبيعي**".

الحمض النووي الخردة والسرطان

ينطبق التباين الطبيعي على الحمض النووي الخردة أيضًا، وأظهرت الدكتورة Anna Rose وزملاؤها مؤخرًا أن التنوع الطبيعي في الحمض النووي الخردة يمكنه زيادة خطر الإصابة **بالسرطان** [1].

السرطان هو مرض يحدث عندما تخرج بعض خلايا الجسم عن السيطرة، حيث تنقسم سريعًا وتُسبب تكتلًا خطيرًا من الخلايا، يُسمى ورمًا، وهو مرض شائع جدًا– ربما عرفت أحدًا كان يعاني من السرطان أو أنك سمعت قصصًا عن مرضى السرطان في الأخبار. يمكن للسرطان أن يؤثر على أجزاء مختلفة من الجسم. عادةً ما يصيب سرطان الثدي السيدات، ووفقًا للإحصاءات، تُصاب سيدة من بين كل ثمان سيدات بسرطان الثدي في إحدى مراحل حياتها [2] بينما يصيب سرطان البروستاتا الرجال وهو شائع مثل سرطان الثدي [2]. إذن، كيف يزيد التباين الطبيعي في الحمض النووي الخردة من خطر الإصابة بالسرطان؟

تقصى العلماء نوعًا معينًا من الحمض النووي الخردة يُسمى تكرارات الجين MSR1، ووجدوا أن مجموعات تكرار الجين MSR1 غالبًا ما تكون موجودة بالقرب من الجينات، ووجدوا أيضًا أن إحدى مجموعات الجين MSR1 مثيرة للاهتمام، لأن هذه المجموعة المكونة من الحمض النووي الخردة كانت عالقة في نهاية أحد الجينات المعروف بإنه مسبب لمرض السرطان. إذا نظرت مجددًا إلى الشكل 2، فستجد أن الأوراق المفردة المبعثرة (الحمض النووي الخردة) موجودة بين الكتب (الجينات) أو مُرفقة في نهاية الكتاب مثل الملحق. في هذه الحالة، الأوراق المبعثرة كانت موجودة

الجينوم (GENOME)

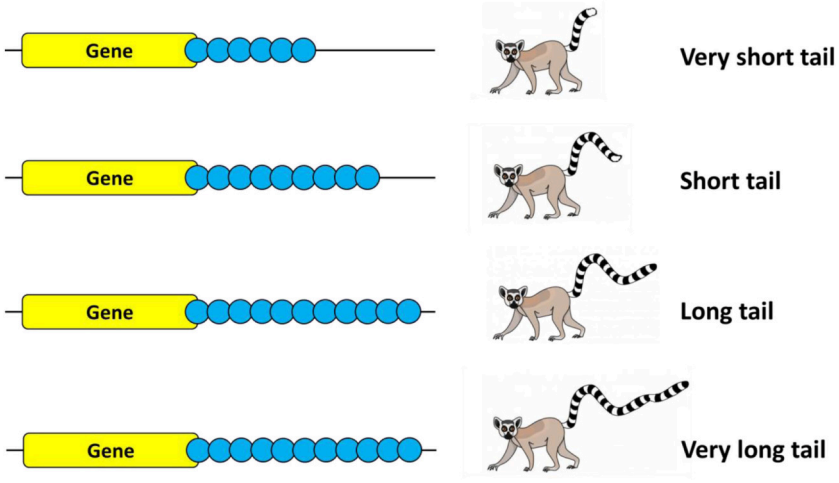
اسم يُطلق على المحتوى الكامل من الحمض النووي في جميع الكروموسومات.

التباين الطبيعي (NATURAL VARIATION)

اختلافات طفيفة بين الشفرات الجينية لمختلف الأشخاص.

السرطان (CANCER)

مرض يحدث عندما تخرج بعض خلايا الجسم عن السيطرة وتنمو لتكوين كتلة أو ورم.



شكل 3

شكل 3

وجد العلماء أن تكرارات الجين MSR1 (الدوائر الزرقاء) قد كونت ذيلًا في نهاية الجين المسبب للسرطان (مثل ملحقات الأوراق المبعثرة في مؤخرة أحد الكتب في الشكل 2). درس العلماء ذيول الجين MSR1 في مجموعة كبيرة من الأشخاص من المملكة المتحدة وأستراليا، ووجدوا أن أطوال الذيول أظهرت تباينًا طبيعيًا. فبعض الأشخاص لديهم ذيول قصيرة في جيناتهم، بينما البعض لديه ذيول طويلة جدًا، والبعض الآخر لديه ذيول متوسطة الطول!

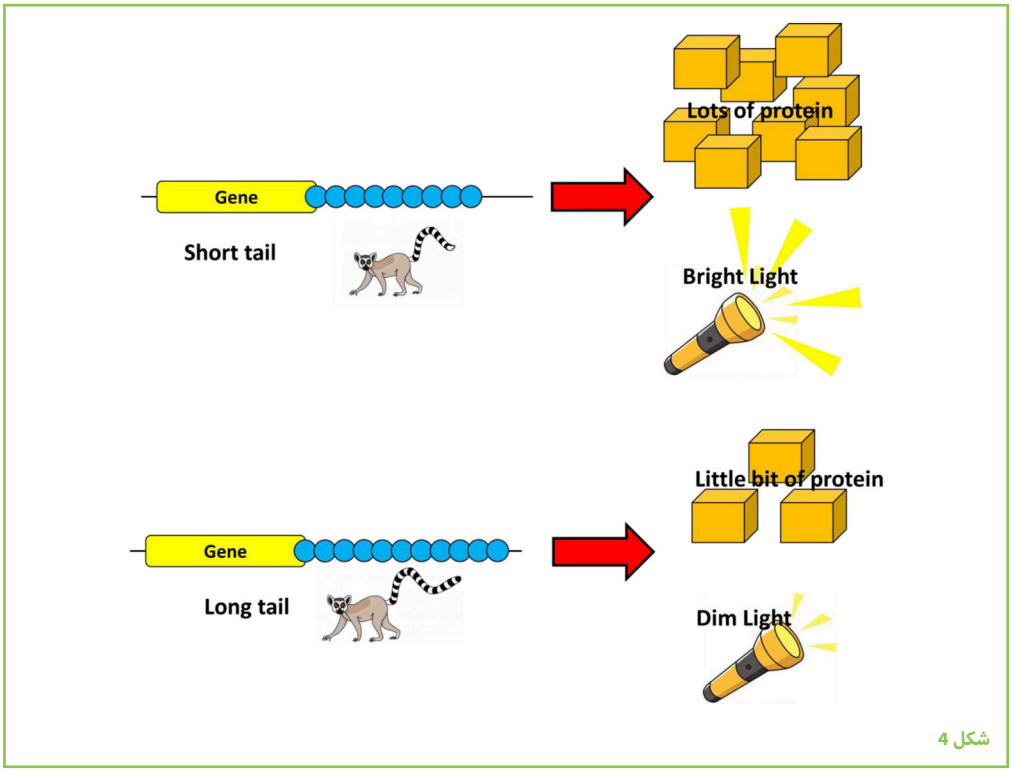
في الصفحات الأخيرة من الكتاب! يمكنك التفكير في تكرارات جين MSR1 باعتبارها ذيلًا للجين المسبب للسرطان. وفيما يخص هذا الأمر، تساءل العلماء إن كان ذيل الجين MSR1 مهمًا أم لا.

تكرارات جين MSR1 تُظهر الكثير من التباين الطبيعي

أولًا، درس العلماء ذيول الجين MSR1 في عدة أشخاص مختلفين لرصد التباين الطبيعي من حيث طول الذيول، ووجدوا الكثير من حالات التباين! فلقد وجدوا أن أطوال ذيول هذا الجين في الأشخاص المختلفين الذين أُجريت عليهم الدراسة من المملكة المتحدة وأستراليا تتفاوت تفاوتًا كبيرًا بداية من ذيول قصيرة للغاية إلى ذيول طويلة للغاية (الشكل 3).

تذكر أن الكروموسومات توجد في أزواج، وبالتالي كل شخص لديه زوج من كل جين، وهذا يعني أن كل شخص لديه اثنين من الجينات المسببة للسرطان، واثنين من ذيول الجين MSR1! لذلك، قد يكون لأحد الكروموسومات ذيل قصير، لكن في المقابل قد يكون للكروموسوم الآخر ذيل طويل. من ناحية أخرى، قد يمتلك كل كروموسوم منهما ذيلًا قصيرًا أو ذيلًا طويلًا.

وقد توصل العلماء إلى أن الذيل الخاص بالجين غالبًا ما يكون مهمًا في التحكم في كمية البروتين التي يتم إنتاجها من ذلك الجين؛ من حيث الزيادة أو النقص، ويمكنك أن تتخيل أن الجين لديه مفتاح تحكم؛ فعندما يكون الجين "معطلًا"، لا ينتج الجين بروتينًا، وعندما يكون الجين "منشطًا"، يُنتج البروتين، أو— لنكون أكثر دقة — يمكن التحكم في الجينات بواسطة "مفتاح ضبط" مثل الذي يُستخدم في التحكم في درجة سطوع الضوء، وهذا يعني أن الجين لا يتم تنشيطه أو إيقافه فحسب، بل يمكن جعله في وضع الإيقاف أو في وضع التنشيط الخفيف أو التنشيط المتوسط أو التنشيط الشديد. واعتقد العلماء أنه ربما لعب ذيل الجين MSR1 دور مفتاح الضبط الخاص بالجين المسبب للسرطان، حيث قاموا بإجراء تجربة معقدة، وأظهرت هذه التجربة أن الذيل *القصير* أنتج بروتينًا أكثر من الذيل الطويل، لذا، فقد أثبتوا أن ذيل جين MSR1 كان مفتاحًا لضبط نشاط الجين؛ بمعنى أن الذيل الطويل بمثابة الإعداد المسؤول عن التنشيط الطفيف والذيل القصير بمثابة الإعداد المسؤول التنشيط الشديد (الشكل 4).



شكل 4

شكل 4

يؤدي ذيل جين MSR1 دور مفتاح ضبط نشاط الجينات المسببة للسرطان، حيث يعتبر الذيل القصير هو الإعداد المسؤول عن التنشيط الشديد في المفتاح ويتسبب في إنتاج الكثير من البروتين، على عكس الذيل الطويل الذي بمثابة الإعداد المسؤول عن التنشيط الخفيف؛ مما يعني عدم إنتاج الكثير من البروتين من الجين.

تكرارات جين MSR1 في سرطان الثدي وسرطان البروستاتا

فيما بعد، فكر الباحثون في دلالة ما ناقشناه سابقًا بالنسبة للسرطان. وقد اكتشف علماء آخرون بالفعل أن أورام سرطان الثدي وسرطان البروستاتا بها مستويات عالية من البروتين الذي ينتجه الجين المسبب للسرطان [3]، ووجدت الدكتورة Rose وزملاؤها أن الذيل القصير هو مفتاح التنشيط المرتفع للجين، والسبب وراء إنتاج مستويات عالية من البروتين المسبب للسرطان (ألق نظرة أخرى على الشكل 4 لتذكر نفسك بهذا الأمر، إذا كنت بحاجة إلى ذلك). لذا، اعتقدوا أنه إذا كان لدى أحد الأشخاص ذيل قصير في الجين، فقد يكون هذا الشخص معرضًا لخطر الإصابة بسرطان الثدي وسرطان البروستاتا.

تم أولًا تسليط الضوء على سرطان الثدي، حيث خضعت للدراسة مجموعة من النساء المصابات بسرطان الثدي من المملكة المتحدة، بجانب مجموعة أخرى مكونة من نفس العدد من النساء اللواتي لم يكن لديهن سرطان الثدي، وتم قياس طول ذيول جين MSR1 الموجودة في الجين المسبب للسرطان في كل من الكروموسومات الخاصة بهن (تذكر أن كل شخص يمتلك زوجًا من كل كروموسوم)، ووُجد أن النساء المصابات بسرطان الثدي هن على الأرجح من لديهن ذيول قصيرة من جين MSR1. وفي الواقع، استخدم العلماء أساليب علم الرياضيات لإظهار أنه إذا كان لدى المرأة ذيل قصير في كل زوج من الكروموسومات، تكون هذه المرأة أكثر عرضة للإصابة بسرطان الثدي بمعدل خمس مرات في سن مبكرة، وأنه حتى وجود الذيل القصير في كروموسوم واحد فقط، يزيد من خطر إصابة الشخص بسرطان الثدي بمعدل مرتين تقريبًا.

وفي الخطوة الثانية تم تسليط الضوء على سرطان البروستاتا، وفي هذه المرة خضع للدراسة مجموعة من الرجال المصابين بسرطان البروستاتا من أستراليا بجانب مجموعة أخرى من نفس العدد من

الرجال الذين لا يعانون من هذ المرض، واُكتشف مرة أخرى أن جين MSR1 ذا الذيل القصير يعرض الرجال لخطر الإصابة بسرطان البروستاتا، فبعد إجراء الحسابات ذات الصلة، خلص العلماء إلى أن الذيل القصير في زوج الكروموسومات، يجعل الرجال أكثر عرضة للإصابة بسرطان البروستاتا بمعدل 1.5 مرة.

إذًا، ما الخطوة التالية؟

من الرائع أن نعرف كيف يتم التحكم في الحمض النووي الموجود في خلايانا. فكان من المثير جدًا للعلماء أن يكتشفوا أن تكرار جين MSR1 كان بمثابة مفتاح ضبط لنشاط الجين. تمثل الدراسات التي تتمحور حول التعرف على كيفية التحكم في الجينات جزءًا مهمًا من العلم في الوقت الحاضر، *ولكن هل يمكننا استخدام هذه الدراسات لمساعدة الناس؟* من المحتمل ذلك!

إن الحمض النووي الخاص بك هو إلى حد كبير نفسه من يوم ولادتك وحتى يوم وفاتك، وهذا يعني أنه يمكن للعلماء اختبار دم الأشخاص لمعرفة طول ذيل جين MSR1 لديهم في صغرهم، ومن ثم سيتمكن العلماء من تحديد الأشخاص الذين لديهم ذيول قصيرة في الكروموسومات الخاصة بهم، وبالتالي سيتمكنوا من معرفة السيدات الأكثر عرضة لسرطان الثدي أو الرجال الأكثر عرضة لسرطان البروستاتا، وستساعد هذه المعلومات بدورها الأطباء على مراقبة هؤلاء الأشخاص بعناية أكبر؛ على أمل اكتشاف أي نوع من السرطانات مبكرًا. وهذا يعني أن الأشخاص المعرضين لخطر الإصابة بالسرطان لديهم فرصة أفضل للعلاج منه.

ومع ذلك، نحن بحاجة أيضًا إلى التفكير في *الأخلاقيات والآداب* التي يخضع لها أي اختبار جيني جديد— يُرجى إلقاء نظرة على المربع 1 لمعرفة المزيد عن الأخلاقيات والآداب الطبية وما إذا كانت الدكتورة Rose نفسها ستخضع للاختبار، أم لا!

قد يكون من الممكن أيضًا إنتاج علاجات جديدة للسرطان، حيث أظهر لنا هذا البحث أن تكرارات جين MSR1 تمثل أهمية كبرى في الأمور المتعلقة بمرض السرطان. لذا، ربما يستطيع الصيادلة صنع دواء يستهدف تكرارات جين MSR1، ما قد يكون نوعًا جديدًا من **العلاج الكيميائي**؛ وهو دواء لمكافحة السرطان.

العلاج الكيميائي (CHEMOTHERAPY)

هو دواء يحارب الخلايا السرطانية.

إن فهم التغيرات الجينية التي تزيد من خطر الإصابة بالسرطان والإلمام بها يمثل أهمية في مواصلة مكافحة السرطان، ونأمل أن تُمكن هذه النتيجة الجديدة العلماء والأطباء من اكتشاف السرطان مبكرًا وإنتاج علاجات جديدة ومحسنة له، وهذا كله نتاج ما يُسمى "الحمض النووي الخردة"

ليس خردة تمامًا الآن، أليس كذلك؟

مربع 1

ما علاقة الأخلاقيات والآداب بعلم الوراثة؟

الأخلاقيات والآداب الطبية هي نوع من الفلسفة التي تنظر في الجانب الأخلاقي للتجارب العلمية؛ أو ببساطة، سواء كان من الصواب أو الخطأ إجراء البحث. وللأخلاقيات والآداب الطبية أهمية خاصة في العلوم الطبية، لأننا غالبًا ما نجري تجارب على البشر أو على عينات مأخوذة من البشر (مثل عينات الحمض النووي)، فقبل أن يجري أحد العلماء مشروعًا بحثيًا، يجب عليه الحصول على إذن من مجموعة من المتخصصين يُطلق عليهم "لجنة الأخلاقيات" وهي اللجنة المعنية بالنظر فيما إذا كانت الدراسة تتوافق مع الأخلاقيات والآداب المعمول بها أم لا.

وفي هذا المشروع البحثي، استخدمت عينات من الحمض النووي من العديد من الأشخاص، وليست عينة الحمض النووي الخاصة بي، حيث إنه لن يكون من الأخلاقي استخدام عينة الحمض النووي الخاصة بي. وهذا أمر بالغ الأهمية لأنه عند إجراء البحث من الممكن

أن نجد شيئًا غير متوقع أبدًا، وحينها ماذا سوف أفعل إذا اكتشفت بالصدفة أن لدي طفرة جينية لمرض مستعصي وخطير؟ وهذه هي الأسئلة المهمة التي تطرحها الأخلاقيات والآداب الطبية.

ومع ذلك، سأختار أن أخضع للاختبار الذي يحدد طول ذيل الحمض النووي الخردة، وهذا لأنه على الرغم من أن السرطان مرض خطير للغاية، فإنه يوجد علاج له. فإذا خضعت للاختبار واكتشفت أنني معرضة لخطر الإصابة بشكل كبير، فسأكون أكثر استعدادًا للمرض، وبالتالي سأخضع للفحص بشكل أكثر انتظامًا، وإذا أُصِبت بالمرض سأتمكن من الحصول على العلاج مبكرًا. ومع ذلك، إذا كان هناك اختبار جيني لمرض مختلف لم يكن له علاج، فلن أرغب في الخضوع لهذا الاختبار— فبالنسبة لي، ستخلق نتائج هذا الاختبار المزيد من القلق دون جدوى. ماذا كنت ستفعل في كلتا الحالتين؟

مقال المصدر الأصلي

Rose, A. M., Krishan, A., Chakarova, C. F., Moya, L., Chambers, S. K., Hollands. M., et al. 2018. MSR1 repeats modulate gene expression and affect risk of breast and prostate cancer. Ann. Oncol. 29:1292–1303. doi: 10.1093/annonc/mdy082

المراجع

1. Rose, A. M., Krishan, A., Chakarova, C. F., Moya, L., Chambers, S., Hollands, M., et al. 2018. MSR1 repeats modulate gene expression and affect risk of breast and prostate cancer. *Ann. Oncol.* 29:1292–1303. doi: 10.1093/annonc/mdy082
2. Cancer Research UK Website Statistics. Available at: http://www.cancerresearchuk.org/health-professional/cancer-statistics/risk/lifetime-risk (Accessed: March 1, 2018).
3. Kontos, C. K., and Scorilas, A. 2012. Kallikrein-related peptidases (KLKs): a gene family of novel cancer biomarkers. *Clin. Chem. Lab. Med.* 50:1877–91. doi: 10.1515/cclm-2012-0247

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 22 يناير 2021

حرره: Tansy C. Hammarton, University of Glasgow, United Kingdom

الاقتباس: Rose AM (2021) الحمض النووي الخردة والسرطان: ما سر الأهمية الكبرى للأجزاء غير الضرورية الموجودة في خلاياك. Front. Young Minds doi: 10.3389/frym.2018.00037-ar

مُترجَم ومقتبس من: Rose AM (2018) Junk DNA and Cancer: Why the Trash in Your Cells Is Very Important. Front. Young Minds 6:37. doi: 10.3389/frym.2018.00037

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 © 2018 © 2021 Rose. 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 مقيدًا 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

ISABELLE، العمر: **13**
أحب السباحة وهاري بوتر والعلوم.

المؤلفون

ANNA M. ROSE
الدكتورة Anna Rose هي طبيبة وأستاذة أبحاث، وفي المستشفى، تعمل طبيبة أطفال وتأمل أن تتخصص أخيرًا في سرطان الأطفال، وتعمل حاليًا في مستشفى John Radcliffe Hospital في أكسفورد بالمملكة المتحدة. وفي المختبر، تجري أبحاثًا في علم الوراثة الخاص بالسرطان، ومهتمة بشكل خاص بكيفية التحكم في الجينات وكيفية تغير عملية التحكم هذه في الخلايا السرطانية، وتجري بحثها الحالي في University of Oxford. بالإضافة إلى ذلك، حصلت على درجة الدكتوراة في University College London وعملت منذ ذلك الحين في UCL وImperial College, London. وفي أوقات فراغها، ستجدها تجدف في نهر التايمز أو تنزه كلبتها ويلما. *anna.rose@ucl.ac.uk

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by
جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology