

## هذا الخلق العجيب

«بدأ كتاب الحياة برجل وامرأة في حديقة»

أوسكار وايلد

يوم الاثنين 26 حزيران / يونيو سنة 2000 تقدم الرئيس بيل كلينتون إلى الغرفة الشرقية من البيت الأبيض يتبعه رجلان فخوران هما: كريغ فنتر وفرانيس كولينز.

كانت مناسبة رُتبت على عجل للاحتفال بإعلان انضمام إتمام النسخة التقريبية من قبل المشروع الحكومي إلى (التجميع الأول) من قبل سيليرا. من بين المدعوين كان هناك علماء وموظفون حكوميون إضافة إلى وسائل الإعلام. وكان ضيف الشرف هو جيمس واتسون العالم ورجل الدولة الذي يعود إليه الفضل في إطلاق المشروع الحكومي لكسر شيفرة المادة الوراثية البشرية. هنا رئيس الوزراء البريطاني طوني بلير هذا الإنجاز واصفاً له بأنه «أول انتصار تكنولوجي عظيم في القرن الواحد والعشرين» وهناً بيل كلنتون قادة المشروعات الحكومية والخاص، وقال: «نحن اليوم نتعلم اللغة التي خلق الله بها الحياة. ونزداد احتراماً وتقديراً لتعقد وجمال وغرابة أقدس هدية حبانا بها المولى». وإشارة إلى أن 99,9% من الشيفرة الوراثية متشابهة بين الناس، أضاف كلينتون «لقد أكد العلم الحديث ما تعلمناه من الاعتقادات

القديمة، وهو أن أهم حقيقة من حقائق الحياة على وجه الأرض هو إنسانيتنا المشتركة».

بعد الرئيس تكلم كولينز مستشهداً بآيات من الإنجيل: «بكل تواضع واحترام أقول إننا أوّل من ألقى نظرة على الكتاب الذي يشرح كيفية عمل أجسادنا، هذا الكتاب لم يكن من قبل معروفاً إلاً للخالق» على كل حال فإن لحظة الانتصار هذه التي حلم بها كولينز طوال سبع سنين كانت مشوبةً بالحزن.

قبل أقل من 24 ساعة كان كولينز حاضراً في جنازة أخت زوجته التي كانت تعمل محرّكةً لدمى الأطفال، وتوفيت بسرطان الثدي. قال كولينز بحزن إن عجائب علم الوراثة لم تأت في الوقت المناسب لإنقاذها. وإشارةً إلى التنافس مع سيليرا كان تعليق كولينز هو الرد الأمثل «إنني سعيدٌ اليوم لأنّ السباق الوحيد الذي نتحدث عنه اليوم هو سباق الإنسانية» وعلى عكس المتحدثين السابقين اختار فنتر أسلوباً علمياً أكثر منه روحياً. فوصف الاتفاق بأنه (نقطة تاريخية في 100 ألف سنة من تاريخ البشرية) وشكر كلاً من الرئيس ومجلس الشيوخ على دعمهما السخي لأبحاث التكنولوجيا الحيوية، كذلك شكر الشركة الأم لسيليرا وهي شركة PE واستثمارها البالغ بليون دولار. توقع فنتر أن تكثر التطبيقات العملية الناجمة عن كسر الشيفرة الوراثية البشرية بما في ذلك الأمل في أن ينقّص عدد الوفيات بسبب السرطان إلى الصفر خلال حياتنا، وختم بعبارة فلسفية، «قال بعضهم إن تحديد التتابع في المادة الوراثية البشرية سوف يُنقص من شأن الإنسانية، وذلك بسلب الحياة من الغموض الذي يكتنفها. واحتجّ الشعراء بأن كسر الشيفرة الوراثية شبيهٌ بعملية تعقيم ستأخذ منهم قدرتهم على الاستلهام، ولا شيء أبعد عن الحقيقة مما قالوه. إن التعقيد والغرابة التي تتصف بها الطريقة التي تتحول بها الشيفرة الوراثية من مواد كيميائية جامدة إلى صفاتٍ روحية لا تقدّر بثمن، وسيكون الشغل الشاغل للعلماء لألف سنةٍ قادمة».

أقيمت المؤتمرات الصحفية على جانبي الأطلسي . وكان الجوُّ في لندن يشبه احتفالاً لتقديم الجوائز، لكن بعض العلماء البريطانيين ما زالوا متأثرين بجو المنافسة، يقول ميتشيل ستراتون من مركز سانجر وهو الذي اكتشف مورثة BRCA2 لسرطان الثدي: «في هذا اليوم نسلّم المادة الوراثية للقطاع العام، وهي قوة هشة وجميلة وقوية بيد الخير أو الشر». بعد الاحتفال في البيت الأبيض اجتمع فريقان من كبار علماء سيليرا والمشروع الحكومي في فندق هيلتون العاصمة لعقد مؤتمر صحفي كبير. لم يظهر أيُّ أثر للخلافات القديمة بين فنتر وكولينز، وكانت هناك صداقة حميمة بين الرجلين وفريقهما، وكان فنتر يتمتع بإرسال التعليقات اللاذعة على قادة المشروع الحكومي الذين جلسوا مقابل زملائه في سيليرا. اعتذر فنتر عن غياب صديقه في شركة PE ميشيل هانكابلير الذي أنشأ محدّد التتابع الأوتوماتيكي، وساهم في التقليل من الإصابة بالحماق «أخبرته أنه إذا جاء فعليه أن يجلس في الجانب الحكومي» قال فنتر مازحاً مما أضحك الفريقين .

كان من المناسب أن يقود المؤتمر الصحفي في واشنطن مدير الجهود التي بذلتها وكالة الطاقة لكسر الشيفرة الوراثية آريستايد باترينو . في الربيع وصلت رائحة الخلافات المستمرة بين الفريقين الحكومي والخاص إلى البيت الأبيض . فأوكل الرئيس كلينتون إلى مستشاره العلمي نيل لِن أن «يُصلح الأمر ويجعل الفريقين يتعاونان فيما بينهما» قام باترينو بهذه المهمة وقد دعا كلاً من فنتر وكولينز مساءً ذات أحد في أوائل أيار / مايو إلى بيته الريفي في روكفيل في ميرلاند لمناقشة الموضوع، حول قطعة من البيتزا وكوبٍ من البيرة. يقول باترينو «لم أتوقع أن أراهما بمثل ذلك التوتر في ذلك اليوم» لكنَّ الرجلين المتنافسين أدركا الحاجة إلى وقف العداء اللفظي فيما بينهما. وبعد عدة لقاءات مع باترينو وافق المتنافسان من حيث المبدأ على إعلان انضمام فيما بينهما. وقد ظهرت العلامة الأولى على قرب الاتفاق بينهما علناً حينما شارك معاً في مؤتمر عن السرطان عقدته المؤسسة الوطنية للصحة . وفي حين كانت التحضيرات

النهائية لاحتفال البيت الأبيض على وشك الانتهاء وقف كولينز وفتنر بلباس المختبر الأبيض مع بعضهما لأخذ صورة مشتركة ظهرت على غلاف مجلة التايمز .

في الأسابيع التي سبقت الإعلان، شكّا كولينز وحلفاؤه إلى الإعلام الوصف المستمر للتنافس مع فتنر بالسباق . وقبل إعلان البيت الأبيض بفترة قصيرة نشرت النيويوركر موضوعاً كتبه ريتشارد برستون يبيّن مشاعر فتنر السابقة حول التنافس مع المشروع الحكومي «إنهم يحاولون القول إنه ليس سباقاً، ولكن إذا كان قاربان يبحران بجانب بعضهما فهذا بالتعريف سباق، وإذا ربح أحد القارين سيقول الفائز: لقد هزمتهم، وسيقول الخاسر: لم نكن في سباق كنا ننتزّه فقط» كان رد كولينز هو أنه إذا كانا في سباق فهذا يقتضي أن يسيرا في طريقتين مختلفتين، ويستخدمنا خط نهاية مختلف . تحدث لاندر عن الطريقة الأحادية التي استخدمها الإعلام لتغطية الموضوع «لقد غدّى الصحفيون الإثارة التي يبغيونها بطريقة لم تخدم أحداً، وذلك لا يعجبني أبداً، إنها الطريقة الأرخص والأسهل التي يستطيع الكاتب العلمي من خلالها أن يجعل موضوعه على الصفحات الأولى» .

في المؤتمر الصحفي في واشنطن عاد كولينز إلى مؤالته، وقد أصاب حين ذكّر الإعلام بأنّ المعلومات التي جمعها الجانب الحكومي بمعدل 1000 أساس في الثانية، كانت توضع في متناول العامة كل مساء ليستخدمها أيّ إنسان بمن فيهم فتنر . لم يُبارك هذا الكلام من فتنر بشدة الذي أقرّ أن شركته الأم PE قد باعت مئات من محددات التتابع التي تستخدمها سيليرا إلى أربعة من خمسة مراكز تابعة للمشروع الحكومي، ولا يمكن أن يصدر ذلك عن شركة صمّمت على كسب السباق مهما كلف الأمر .

بالرغم من أنّ كلا الطرفين قد صرّح أنه يتطلع إلى نشر أبحاثه بشكل يتوافق مع الآخر، وذلك خلال شهور قليلة، وربما مقارنة التتابع والطريقة

المستخدمة، إلا أن الاتفاق كان نوعاً من التعاون المتبادل وليس بالضرورة تحالفاً. ومن السذاجة إنكار أن روح التنافس التي سادت الطرفين في البداية لم تسرّع كسر الشيفرة الوراثية البشرية. يقول كولينز: «لقد جعلت العصور ينساب» و«المنافسة جزء أساسي من العلم» ويقول لاندر: «إن الطرق العلمية تعمل بفضل تلك البدائل التي يتم التوصل إليها بشكل ودي» وقد ردّ فنتر هامساً «مع أصدقاء كهؤلاء». إن الربط غير المعهود بين البيت الأبيض وداونينغ ستريت وضّح أهمية إعلان التحالف بين الفريقين، ولكن ما الذي تمّ الاحتفال به؟ حسب ما يقول كولينز قام المشروع الحكومي بتحديد تتابع 22 بليون أساس في الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين أي حوالى سبعة أضعاف المادة الوراثية، وقد تمّ تحديد 60٪ من التتابع في الستة أشهر الأخيرة. وقدر عدد الأسس في الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين بـ 3,15 بليون أساس. قال كولينز إن 25٪ من التتابع قد حُدّد بشكل كامل و50٪ على وشك الانتهاء من تحديده وحوالى 38٪ ما زال على شكل مسوّدّة.

95٪ من التتابع محدّد بدقة 99,99٪ لكن دقة الباقي أقل، لذلك تعتبر الدقة الإجمالية لتحديد التتابع 99,9٪. وقد أظهر تحليل عاجل للتتابع الذي حدّده المشروع الحكومي وجود 38 ألف مورثة مؤكّدة، وهو أقل من الحد الأدنى للعدد الذي حُدّد في يانصيب المورثات العالمي.

كان ذلك نموذجاً لأداء كولينز البارِع والمفتخر بنفسه، والذي لخصّ أهمية الإنجاز الذي حققه بعبارة ل دوسينت إكسوبيري مؤلّف الأمير الصغير «ليست مهمتك التنبؤ بالمستقبل وإنما صناعته» وأضاف «إن التتابع الذي يتم تحديده اليوم سيمكننا في المستقبل من فهم أكبر لعمل الجسم البشري» وكانت هذه المناسبة فرصة لتقدير الجهود التي بذلها عددٌ من الرجال لتحقيق هذا الإنجاز التاريخي «إننا نقف على عدّة أكتاف» قال كولينز مؤكّداً: «إن مشروع كسر الشيفرة الوراثية البشرية لم يخرج من لا شيء كما خرج فينوس من رأس

زيوس» رفع عددٌ من المستمعين حواجبهم متعجبين وبخاصة اليوناني آري باترينوس الذي لم يستطع أن يقاوم نفسه وبيّن لأصدقائه أن أثينا وليس فينوس خرجت من رأس زيوس (بدأ كولينز يعتذر لأنه خلط بين الأساطير الرومانية والإغريقية قبل أن يدرك أنه يزيد الأمور سوءاً).

تبع فنتر كولينز ليزود المستمعين ببعض الإحصائيات عن النسخة التي تعدّها سيليرا للتابع الأسس في الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين، والتي تغطّي 99٪ من التابع، واستغرقت فترة حمل تعادل تماماً التسعة أشهر. واعتمدت على تحليل المادة الوراثية لخمسة أشخاص: امرأة أمريكية من أصل أفريقي، وامرأة صينية وامرأة إسبانية ورجلان قوقازيان؛ كان هناك توقعات أن تكون المادة الوراثية الأولى التي سيتم تحليلها هي لفتنر نفسه، لكن فنتر أوضح أنّ من سياسة شركته أن لا تعلن هوية المتبرعين بمادتهم الوراثية. أكد فنتر أن التابع سيكون في متناول الجميع مجاناً حين نشره، لكن أولئك الذين يريدون دخولاً سريعاً على مركز المعلومات أو إجراء تعديلات أو مقارنات مع مواد وراثية أخرى كتلك المتعلقة بالفأر مثلاً عليهم أن يدفعوا مقابلاً لذلك.

قدّرت سيليرا أن المادة الوراثية البشرية تحتوي على 3,12 بليون أساس أي حوالي 30 مليون أساس أقل من العدد الذي قدره المشروع الحكومي. حدّدت سيليرا التابع في 26,4 مليون قطعة، وكل قطعة تحتوي 550 رسالة، أي كمية مقادرها 14,5 بليون رسالة تمّ تحليلها، وهي تعادل تغطية مقادرها 4,6 أضعاف المادة الوراثية البشرية. نسب فنتر معظم النجاح إلى (سلاح سرّي) وهو استراتيجية (النهاية المزدوجة) التي طوّرها هاملتون سميث وروبرت هولت وقد مكّنت سيليرا من ملء فراغات في التابع لم تستطع الوسائل الأخرى مَلأها. تطلبت عملية الصف النهائي للتابع حوالي 20 ألف ساعة عمل مركزية من كمبيوتر سيليرا المتفوق، وأكثر من 500 مليون تريليون مقارنة بين الأسس. «لقد

سألت جين (مايرز) ما هو ذلك العدد؟» يقول فنتر مازحاً «فأجاب: أعتقد أنه شيء يشبه الغازليون».

مهما كان ذلك العدد فإن فنتر يدّعي أنها أكبر عملية حسابية تعتمد على الكمبيوتر في علم الأحياء في التاريخ.

على كل حال كان ذلك اليوم أكثر يومٍ شعر فيه فنتر بالفخر والرضا خلال الستين اللتين قضاهما في سيليرا. فقد وصل إليه وهو في البيت الأبيض نبأ توقيع شريكه الأول على عقد، وكانت اللمسات الأخيرة توضع على اتفاق مع زبون أكاديمي مهم وهو أستراليا. كانت الغصة الوحيدة من سوق الأسهم إذ إن التحالف بين سيليرا والمشروع الحكومي جعل بعض المستثمرين قلقين من مصداقية سيليرا على المدى الطويل، ففقدت سيليرا في ذلك اليوم 11٪ من قيمة أسهمها.

كان يوم 26 حزيران / يونيو يوماً تاريخياً، وقد تنافس العلماء والمعلّمون للعثور على أفضل عبارة تصف هذا اليوم. من اللافت للانتباه أن النتيجة كانت قائمة تشبه حروف الشيفرة الوراثية وهي: هبوط أبولو على القمر، رؤية كوبرنيكوس للنجوم، دراسة غالن للجسم البشري، كسر تورينغ للشيفرة الغامضة. حتى تشبيه الاتفاق باختراع العجلات لم يكن دقيقاً. يقول ميتشيل ديكستر مدير مؤسسة ويلكام ترست والذي انضم إليها قبل عدة أشهر فقط «أستطيع أن أتصوّر يوماً تمكّنتنا فيه التكنولوجيا من الاستغناء عن العجلات، لكنّ هذه الشيفرة هي أساس الجنس البشري وستظلّ مهمّة ما دام الإنسان موجوداً».

معظم العلماء ذهبوا بعيداً في تعظيم الحدث، واصفين إياه بأنه إلهام، وأنه أهم يوم في تاريخ البشرية.

قال عالم الأحياء التطوّري ريتشارد داوكينز يبدي تأثره بالحدث «إضافة إلى موسيقى باخ وقصائد شكسبير وبرنامج أبولو لغزو الفضاء يُعتبر مشروع كسر

الشيفرة الوراثية البشرية إحدى الإنجازات الإنسانية التي تجعلني أفخر كوني إنساناً.

(سأل أحدهم هل يوجد خيار آخر).

في إحدى المقابلات المشتركة التي ظهر فيها فتر مع كولينز بعد المؤتمر الصحفي قال فتر على شاشة النایت لاين إن ذلك اليوم كان «ظاهرةً ويوماً تاريخياً لنا كنوعٍ من الكائنات» فعلق أحد الضيوف سريعي البديهة قائلاً «إذن نشكرُ نيابةً عن هذا النوع» لكن الإعلان الأنغلو - أمريكي الذي رُتب بسرعة ترك البعض يتساءلون عما إذا كان إعلاناً مبكراً. فسليرا التي أكملت تحديد التابع ما زالت معلوماتها محجوبةً عن العامة، ومتوفرةً فقط للمتعاقدین معها (ومعظمهم من الصناعة الدوائية) بالمقابل فإن المعلومات التي أنتجها المشروع الحكومي كانت متوفرةً بالمجان للجميع عبر الإنترنت لكنها لا تغطي إلا 90٪ من النسخة التقريبية للمادة الوراثية البشرية، قال أحد المراسلين في سؤالٍ وجهه إلى عالم في مركز سانجر في المؤتمر الصحفي في لندن «لقد رسمتم خريطة لـ 97٪ من المادة الوراثية البشرية، وحددتم التابع في 85٪ منها، وأنهيتهم 24٪ فلماذا اخترتم هذا التوقيت لتعلنوا عن ذلك؟». كذلك في أمريكا بدأ التهكم ينهال على الإعلان، إذ علق الصحفيون مازحين: إذا اعتبرنا مشروع المادة الوراثية البشرية قد انتهى فمعنى ذلك أنه يمكن الإعلان عن انتهاء سيمفونية شوبرت قبل انتهائها، ويمكن إعلان نتيجة مباراة البيسبول بعد ثماني جولات فقط، كذلك سيتم اعتبار التمريرات غير الكاملة في لعبة كرة القدم الأمريكية تمريرات كاملة.

يذكرنا السبب الكامن وراء الإعلان الذي نُسق بعناية وفقاً لرأي الإيكونومست بمشهد السباق في فيلم (أليس في بلاد العجائب) الذي يعلن فيه الحكم (دودو) بعد تفكير حذر: «قد ربح الجميع وكلهم يستحقون الجائزة». كانت الجائزة بالنسبة للمشروع الحكومي «كشف حقيقة أن السباق كان قيماً وأن



نجم الشركة التجارية الصاعد والتي لم تتجاوز العامين من العمر لم يستطع هزيمة المشروع الحكومي». أما بالنسبة لفنتر فقد تلقى «تقديرًا رسمياً سيجعله مرشحاً لنيل جائزة نوبل من يدي ملك السويد».

كان هناك سبب منطقي آخر لموعد الـ 26 حزيران/ يونيو، كما يقول ميشيل مورغان، إذ أنه كان الوقت الوحيد المتوفر لكل من كليتون وبلير. اختلفت ردود أفعال شركات التكنولوجيا الحيوية. شريك فنتر السابق بل هاسلتاين كان متشككاً من توجه سيليرا «إن الأمر يشبه إعلان شركة خاصة سنة 1967 أنها ستسبق ناسا للوصول إلى القمر، وقد فعلت ذلك، السؤال التالي ما هي خطة العمل؟». يقول منافس آخر وهو ستيفن هولتزمان من شركة ميلينيوم فارماكوتشوالز «إن السباق هنا ليس من أجل الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين، وإنما لتحديد المورثات ودورها في الأمراض والاستجابة للأدوية». أما روي وايت فيلد رئيس شركة إنسايت ومديرها التنفيذي فيقول: «أستطيع أن أصف الأمر كبداية لآلاف من السباقات، إذا كان لدينا سرطان في الكولون فالسباق لشفاء سرطان الكولون، إذا كان لديك التهاب في المفاصل فالسباق هنا لشفاء التهاب المفاصل، إنها بداية سباق طويل سيكون له تأثير هائل على صحة الإنسان».

بعض تعليقات الإعلام كانت ساذجة إلى حد ما، وصفت ديان سوير في جريدة صباح الخير أمريكا تحديد التابع بأنه «قصة الشخصية والربح والعاطفة والبيتزا». وقد سألت مراسل الـ ABC العلمي «هل يعني ذلك أن بإمكاننا خلق إنسان في طبق مخبري؟». وعلى شاشة الـ CNN نجح لاري كينغ في إحراج دالاي لاما الذي صرّح بوضوح أنه لم يسمع بالإعلان من قبل، واعترف بأنه لا يعلم الكثير عن الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين.

أحد الضيوف في برنامج تلفزيوني يُعرض في آخر الليل قال ساخراً: «يركز العلماء الآن على إنجاز مشروعهم التالي الكبير».

كان هناك بعض التساؤلات حول إمكانية صنع فيلم عن مشروع كسر

الشفرة الوراثية البشرية. فقد أندي مارشال مخرج فيلم (التكنولوجيا الحيوية للطبيعة) بمهمة اختيار الممثلين، ورشح جون مالكوفايش للقيام بدور فتر، وتوم هانكرز للقيام بدور كولينز، وبينني كونوللي للعب دور جون سلستون، والرئيس كليتون ليلعب دوره بنفسه.

في الأسابيع والأشهر الأخيرة التي تلت إعلان البيت الأبيض، وسَّعت سيليرا بالتدرّج قائمة الجامعات المتعاقدة معها لتشمل جامعة هارفارد، وجامعة تكساس، ومركز ساوث ويستون الطبي. الصفقة الأضخم كانت في أيلول/سبتمبر سنة 2000 مع معهد هوارد هيوغر الطبي أكبر مموّل للأبحاث الطبية في الولايات المتحدة الأمريكية، وهو يدعم أكثر من 350 من كبار الباحثين في المجال الطبي الحيوي في أنحاء الولايات المتحدة. سيتمكّن باحثو المعهد من الاستفادة من مركز معلومات سيليرا مقابل 15 ألف دولار في السنة.

كان من المتوقع أن يُبرم المزيد من الجامعات الرئيسية عقوداً مع سيليرا. وعلى الرغم من التساؤلات حول الميزات التي تتفوق بها سيليرا على الخدمة التي يقدمها المشروع الحكومي عبر مركز معلوماته في ال:جين بانك فإن قليلاً من الباحثين كان مستعداً لتحمل الإنزعاج الناجم عن التفكير بأن منافسيه يتفوقون عليه بفضل قدرتهم على استخدام المعلومات التي توفرها سيليرا إضافة إلى أن المتعاقدين مع سيليرا يستطيعون أن يطلعوا على الشيفرة الوراثية للفأر، ومقارنة المورثات البشرية المفترضة مع مثيلاتها عند الفئران. كما بدأت سيليرا تعرض خدمة تمكّن الباحثين من الاستفادة من مجموعتها من عديدات الشكل والتي تضم حوالي 2,5 مليون قطعة من عديدات الشكل وحيدة النيكلوتيد.

في حين كان بعض الباحثين يسعون إلى التعامل مع سيليرا، كان آخرون منزعجين من هذا الأمر. فقبل خمسة أعوام أخفت بعض شركات التكنولوجيا الحيوية الناشئة اكتشافات تتعلّق بالمورثات مما أثار غضب الأكاديميين الذين اتهموهم بتقديم الربح على مصلحة المرضى. والآن انقلبت الطاولة رأساً على عقب، فبتوافر كل المورثات تقريباً عبر شبكة الإنترنت أصبح الأكاديميون

متخوفين من أن تستخدم شركات التكنولوجيا الحيوية الممولة جيداً اكتشافاتهم لأغراضها الخاصة.

احتلت أنجيلا كريستيانو وهي طبيبة جلد من جامعة كولومبيا، عناوين المجلات العلمية سنة 1997 حينما اكتشفت مورثة طافرة مسؤولة عن مرض وراثي نادر يسبب الصلع وفقدان كامل شعر الجسم. إن الفوائد المادية من بيع أدوية اعتماداً على مورثة الصلع هائلة، ولكن إلى أن تُنهي كريستيانو أبحاثها حول مورثات الصلع تظل حذرة فيما يتعلق بكشف أي معلومات قد تؤدي إلى تحديد مورثات الصلع الأخرى، حتى تنهي البحث بكامله. إن نشر معلومات حول موقع مورثة الصلع قد يمكن شركات التكنولوجيا الحيوية من تحديد موقع المورثة والمطالبة ببراءة الاختراع قبلها.

حتى قبل أن يثبت فنتر نجاح طريقته في تحديد التتابع باستخدامها لكسر الشيفرة الوراثية لذبابة الفاكهة، انهالت عليه الطلبات لكسر الشيفرة الوراثية لعدد من الكائنات. إن كسر الشيفرة الوراثية للفأر والذي سينتهي بانتهاء سنة 2000 سوف يضيف قيمة هائلة إلى مركز معلومات سيليرا بمقارنة التتابع في ثلاث فئران ذات قرابة، مع الشيفرة عند الإنسان ومقارنة القطع المتشابهة بين النوعين يستطيع العلماء التنبؤ بأماكن وجود المورثات. أحدث فنتر سنة 1999 ضجة كبرى بإعلانه أن سيليرا تستطيع كسر الشيفرة الوراثية للرز في ستة أسابيع. فقد كانت الحكومة اليابانية تأمل إنهاء كسر الشيفرة الوراثية للرز والتي تعادل ثمن الشيفرة الوراثية للإنسان بحلول سنة 2003. كما درس فنتر أيضاً جدوى كسر الشيفرة الوراثية للبقرة وعدة حشرات والشمبانزي. كذلك يعتبر كسر الشيفرة الوراثية للكلب هدفاً جذاباً إذ قد يؤدي تحليل المادة الوراثية لبعض أنواع الكلاب إلى فوائد طبية جمّة، كما بدا ذلك بتحديد مورثة النوم الانتيابي عند كلاب الدويرمان.

خلال غداء رسمي في سيليرا سنة 1999 تساءل فنتر كم من الصبغيات

يوجد في التفاحة؟ إذ أنه سُئِلَ عن إمكانية كسر الشيفرة الوراثية للتفاحة أثناء زيارة له لأستراليا.

خلال السنوات العشر التالية أَدَّى طموح فِئْتَر المتوثَّب، وعقليته الأحادية الانتهازية، إلى إشعال الخلاف بينه وبين الكثير من أصدقائه العلماء، لكنه كرجلٍ يساوي مئات الملايين من الدولارات، رجلٍ غني إلى درجةٍ يستطيع معها التبرع ببعض أسهمه في سيليرا إلى معهده السابق، لا يزال فِئْتَر يحظى باحترام وإعجاب زملائه. كان يتحدَّث بصراحة عن تمنياته بالحصول على جائزة نوبل ويقول: إنَّ منجزاته لا تقلُّ أهمية عن منجزات من حصدوا هذه الجائزة. وقد مزح مرّة مع صديقه المقرب هاملتون سميث وقال له إنهما قد يشتركان بجائزة نوبل ذات يوم. نال سميث جائزة نوبل سنة 1978 ومرّت به بعد ذلك صعوبات شخصية ومهنية وقد أجاب ببساطة: «يمكنك نيلها». ويعتقد كثير من المراقبين أن إنجازات فِئْتَر الرائدة في مجال كسر شيفرة الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين العقد الماضي - اكتشاف طريقة قطع التتابع المعكوس، كسر الشيفرة الوراثية لعدد من الكائنات لأول مرّة وتسريع كسر الشيفرة الوراثية للإنسان - ترشحه لنيل جائزة نوبل. ولكن بغض النظر عن تلقيه مكالمة من ستوكهولم أم لا فإنَّ لدى فِئْتَر الكثير ليقوم به.

بما أن سيليرا تضع الخطط لتُبقي محددات التتابع في الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين في حالة عمل مستمرة خلال السنوات القادمة، فهي تتطلَّع إلى مشروعها الكبير القادم وهو مشروع البروتيوم. بعد شهر من الإعلان المتعلِّق بالشيفرة الوراثية البشرية أخبر فِئْتَر المراسلين في اجتماع دولي للكيميائيين الحيويين «بفهمنا لعمل البروتينات نستطيع أن نفهم ونتنبأ بالنتائج الطبية». تقوم آبلاید بيوسيستم الشركة الأخت لسيليرا بإنتاج جيل جديد من محددات الطيف الضخمة التي ستُسرع عملية تحديد التتابع في البروتين. هذه التكنولوجيا قد تُستخدم لتحديد البروتينات غير الطبيعية على سطح الخلايا

السرطانية بما في ذلك على سبيل المثال البروتينات التي تمّ تعديلها كيميائياً بإضافات مجموعات من السكر أو الكبريت أو الفوسفات. هذه التعديلات قد يكون لها أثر كبير على عمل البروتين، وهي لا تُحدّد بتحليل المادة الوراثية البشرية. وقد أشارت سيليرا إلى أنها قد تعيّر مهمتها الأساسية كشركة للمعلومات وتشقّ طرقاً جديدة لتقديم لقاحات خاصة للمرضى وأشكال أخرى من تطوير الأدوية.

قبل أن يبدأ مشروع كسر الشيفرة الوراثية البشرية بفترة طويلة تمتع العلماء بمجابهة التحديّ العظيم لتحديد المكوّنات الوراثية، ومعرفة كيف تعمل مع بعضها. إن المهمة القادمة لا يمكن التقليل من قيمتها. يقول فنتر: «أنا متأكد أنه بعد قرنٍ من الآن سيظل العلماء قادرين على تحقيق اكتشافات ضخمة اعتماداً على تحديد التابع الذي سيتحقّق سنة 2000».

يقوم العلماء في المجالين الأكاديمي والصناعي بتجهيز المعدات التي ستجيب عن السؤال الأساسي: ما هي مهمة البروتينات التي تحدّدها 60 ألف مورثة بشرية؟ كيف يمكن أن يُستخدم فهمنا لهذه المهمة في علاج الأمراض؟ ويكمن الجواب في العبارات المثيرة التي وُصِفَتْ بها حقبة ما بعد مشروع كسر الشيفرة الوراثية البشرية مثل حقبة دراسة البروتينات أو دراسة عمل المورثات أو بنية المورثات. لقد بدأ للتوّ التركيز ينتقل من تحديد هوية كل المورثات البشرية إلى فهم خواص مئات الآلاف من البروتينات التي ترمز لها هذه المورثات (البروتيوميكس) كما تبذل الآن جهود كبيرة لمعرفة كيفية عمل المورثات وما هو تركيب البروتينات التي تمثّلها. تبدو هذه العبارات مغرية للمحلّلين الصناعيين وأصحاب رؤوس الأموال. لكن يجب أن لا تخدعك الألفاظ يقول هوارد جاكوب عالم الوراثة في جامعة ويسكنسون «إن الفرق بين الفيزيولوجيا وعلم المورثات الوظيفي هو التسويق».

في حقبة ما بعد المادة الوراثية البشرية لن يلتزم العلماء بدراسة مورثة

واحدة أو بروتين واحد في الوقت نفسه. مجموعة جديدة من المعدات ستمكّنهم من تحديد صفات كل محتويات الخلية من البروتينات والمورثات في وقت واحد. وكما تستطيع رقائق الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين تحديد المورثات في الخلايا السليمة والمريضة، يطور الباحثون طرائق مماثلة لتقييم خواص البروتينات.

وعلى سبيل المثال فقد طوّرت ستوارت شريبر وزملاؤه في جامعة هارفارد طريقة مجهرية نمطية لتحديد البروتينات مكوّنة من 10 آلاف بقعة من البروتين، موصولة بشكل آلي إلى شريحة مجهرية مشتركة، يمكن استخدامها فيما بعد لاكتشاف وتصوير ارتباط جزيئات صغيرة من الأدوية مع بروتينات الخلية.

وهناك طريقة أخرى فعّالة لتحديد خواص البروتينات وهي تحديد أي البروتينات يتفاعل فيزيائياً مع البروتين الآخر، مما سيُعطي فكرة عن عمل البروتينات والطرق التي تسلكها. تكنولوجيا ذكية تدعى تحليل الهجين الثنائي طوّرتها عالمة الوراثة ستانلي فيلدز وشركاؤها من جامعة واشنطن قبل عدة سنوات وتقضي باستخدام بروتين معيّن كقطع لتحديد ارتباطه ببروتين آخر. استخدمت فيلدز هذه الطريقة لمراقبة خواص الارتباط بالبروتينات لـ 6000 مُنتج من منتجات المادة الوراثية للخميرة. أوّل نتائج واسعة النطاق تمّ الحصول عليها كانت بالتعاون مع (غوراجين) وقد حدّدت شركاء أكثر من 1000 بروتين خمائري معطية مفاتيح أساسية لفهم عمل المئات من المنتجات المجهولة المورثات. تُستخدَم هذه الطريقة الآن لتحليل البروتينات التي تنتجها كامل المواد الوراثية لذبابة الفاكهة.

بالتأزر بين الطرق الكيماوية الحيوية، والكومبيوترية والوراثية، سيتمكّن الباحثون من رسم صورة شاملة جديدة للتفاعلات بين البروتينات داخل الخلية.

إضافة إلى التكنولوجيات المستخدمة لتحديد وظيفة البروتينات على نطاق واسع (علم المورثات الوظيفي) توجد أولوية أيضاً لتحديد البنية ثلاثية الأبعاد

للبروتينات على نطاق صناعي أو (علم المورثات البنيوي). يقول جون كيوريان وهو عالم أحياء بنيوي في جامعة روكفلر «إن النظرة الأولى إلى بنية بروتين جديد تشعرك برهبة تشبه تلك التي شعر بها مكتشفو الأنواع الأولى من الكائنات الحية في القرن التاسع عشر».

على كل حال هذه النزعة الماضوية الرومانسية يُهدّدها نشوء شركات ضخمة تريد أن تفعل بنية البروتينات ما فعله مشروع الشيفرة الوراثية البشرية بتحديد تتابع الأسس في الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين.

يقود ستيفن بورلي، صديق كيوريان الدعوة إلى مبادرة يقوم بها علم الوراثة البنيوي لتسريع تحديد البنية البلورية للبروتينات. فعلى الرغم من وجود مئات الآلاف من البروتينات المختلفة في جسم الإنسان، فإن هذه البروتينات تنطوي تحت آلاف قليلة من المجموعات البروتينية فقط. هذه المجموعات الكبيرة ذات الأسماء البرّاقة مثل «أصابع الزنك» أو «مغلقات وفتحات اللوسين» تبرز إلى السطح بشكل متكرّر لتساعد عدداً متنوعاً من البروتينات على الارتباط بالحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين أو بروتينات أخرى. وتنوي المؤسسة الوطنية للصحة إنفاق 100 مليون دولار خلال السنوات الخمس القادمة لتمويل مجموعات معيّنة، ستقوم بتصنيف أشكال وأنواع البروتينات الأكثر أهمية. خلال ذلك الوقت تفكّر مؤسسة ويلكم ترست بإنشاء مشروع عالمي لعلم الوراثة البنيوي تتعاون فيه المراكز الأكاديمية والصناعية لتسريع إخراج بنية البروتينات للاستخدام العام.

وعلى الرغم من هذه المبادرات المُدهشة تقوم مجموعة من الشركات الجديدة بالاستعداد لاكتشاف تركيب البروتينات بشكل أسرع. فيراهن تيم هاريس، وهو المدير التنفيذي البريطاني المجدّد للشركة التي سُمّيت تخليلاً بـ (ستركتورال جينوميكس) وهي شركة جديدة مركزها في سان دييغو على أن تصوير البلورات باستخدام الأشعة X يمكنه أن يحدّد البنية ثلاثية الأبعاد لخمسة

آلاف بروتين خلال خمس سنوات، وأن هذه البنى يمكن بيعها بعد ذلك إلى شركات دوائية تبحث عن اكتشاف وتطوير أدوية جديدة.

يقول بيتر شولتز مدير معهد المورثات التابع لمؤسسة ثوفارتيس للأبحاث ومقرها في سان فرانسيسكو أيضاً: إن علم المورثات البنيوي سيكون أساسياً لمستقبل اكتشاف الأدوية «إذا كنت تستطيع أن تلقم الكمبيوتر بـ 200 إلى 400 ألف مركب وتحاول تشذيب هذه البروتينات لتطابق بنية بروتينية معينة، يمكنك نظرياً اكتشاف أدوية جديدة». ويقوم شولتز بتأسيس شركة جديدة اسمها سايركس لتعمل في هذا المجال.

يوجد نقاط تشابه واضحة بين تأسيس هذه الشركة، وغيرها من الشركات العاملة في مجال علم الوراثة البنيوي، وبين الطريقة التي تحدت بها سيليرا بشكل مكشوف المشروع الحكومي الهادف إلى كسر الشيفرة الوراثية البشرية. مما أدى إلى تحسين فعالية بقية تحديد التابع بدلاً من تعطيلها. وكما حدث قبل خمسة عشر عاماً عندما بدأت الإشارات الأولى لإطلاق المشروع الحكومي، يعارض بعض كبار الكيماويين المختصين بالبروتينات مشروعاً أعمى وكبيراً يحدّد بنية هذه البروتينات. اعتراضات مماثلة خفتت حينما ثبتت فائدة كسر الشيفرة الوراثية البشرية، ولكن كما أنّ الكسر الخطّي لشيفرة الحمض النووي الريبى منزوع الأكسجين لم يمكن من معرفة وظائف المورثات تلقائياً، كذلك لا تضمن معرفة البنية ثلاثية الأبعاد للبروتينات فهم وظيفة هذه البروتينات.

كل الجهود العامة والخاصة في مجال علم الوراثة البنيوي تصادفه تحديات هائلة. ويوجد بروتينات أكثر من المورثات لأن معظم المورثات تعبر عن نفسها بعدة طرق. كما أن معظم البروتينات المهمة طبياً - تلك الموجودة على أغشية الخلايا، والتي تميّز الإشارات من الهرمونات أو النواقل أو الخلايا الأخرى - من الصعب بلورتها.

حينما نجح رود ماك كينون في تحديد البنية البلورية الأولى لقناة في



الغشاء الخلوي سنة 1998 قوبل إعلانه عن ذلك في مؤتمر في أوتا بالوقوف والتصفيق، وهو أمر نادر الحدوث. ويأمل بعض العلماء أن يؤدي فهمهم للقواعد التي تنظم تشكل البروتين - انطواء سلسلة الحموض الأمينية لتشكّل جزئياً ثلاثي الأبعاد - إلى نقل المشكلات المتعلقة بتركيب البروتينات من المستوى التجريبي إلى الكمبيوتر.

السلح الأساسي في هذه الأبحاث هو (البلوجين) الذي اعتبر آخر كأسٍ مقدّمة يُنتجها علم الأحياء؛ وهو كمبيوتر متفوّق جديد طوّرتّه شركة IBM. إن كمبيوتر (بلوجين) أقوى بـ 1000 مرّة من كمبيوتر (ديب بلو) الذي هزم بطل العالم في الشطرنج غاري كاسباروف قبل عدة سنوات، وأقوى بمليون مرّة من أيّ كمبيوتر شخصي جيّد.

حين ينتهي تصميم هذا الكمبيوتر بعد عدة سنوات سيحتوي، وهو في مقرّه في مختبرات واتسون في نيويورك، على مليون معالج دقيق بسرعة مثالية تعادل كوادريليون عملية في الثانية الواحدة. سيقوم هذا الكمبيوتر بتشكيل صورة للبروتين بأبعاده الثلاثة انطلاقاً من سلسلة خطية من الحموض الأمينية.

هذه المبادرة سيكون لها أثر طيب على عدد من الأمراض التي يسببها خلل في انطواء البروتين مثل داء آلزهايمر والتليف الكيسي وأمراض البريون كداء جنون البقر. يتطلّع سيدني برنر إلى حقبة ما بعد الشيفرة الوراثية البشرية «حين يخمد الهوس بالمادة الوراثية البشرية سوف نعود إلى أسلوب العلم الطبيعي المدفوع بالنظرية. ما ينسأه الناس هو أنّ هناك عشرات الآلاف من علماء الكيمياء الحيوية سيعودون إلى دراسة عمل البروتين. ما قمتم به هو أنكم زوّدتهم بالأداة اللازمة وهذا أمر جيّد».

وفي الوقت الذي يتوقع فيه العلماء اكتشاف أسرار المادة الوراثية البشرية وآلاف البروتينات التي تنتجها هذه المادة يفكّر قليل من أصحاب القلوب الشجاعة باستخدام هذه الثورة المتسارعة في كسر الشيفرة الوراثية لإنشاء أشكال

جديدة من الحياة. حدّد بيتر شولتز الموضوع بدقة حينما قال: «لماذا يوجد أربعة أسس فقط في حمضنا النووي الريبى منزوع الأكسجين؟».

تتكوّن الشيفرة الوراثية من 64 ثلاثية محتملة (عدد الطريقة التي يمكن أن تُصّف فيها 4 رسالات على شكل ثلاثية هي  $4 \times 4 \times 4$ ) ومع ذلك يوجد 20 لبنة مختلفة تدخل في بناء البروتينات، مما يعني أنّ عدّة تغيّرات في الحمض النووي الريبى منزوع الأكسجين لا تغيّر البروتين الذي يرمز له هذا الحمض.

ويأمل شولتز أن يستغل اكتشاف الشيفرة الوراثية لتوسيعها. ولإدخال حموض أمينية غير عادية إلى البروتينات يجب على شولتز أن يهندس نهاية جزئية يدعى الحمض النووي الريبى الناقل، وهو الذي يحمل الحمض الأميني المناسب إلى الثلاثية الخاصة به على رسالة الحمض النووي الريبى. أولاً يقوم شولتز بتعديل مضاد رمز الحمض النووي الريبى الناقل بحيث يميّز ثلاثية مختلفة، على سبيل المثال VAG والتي هي بشكل طبيعي رمز التوقف. بعد ذلك يغيّر الحمض الأميني المرتبط بالنهاية الأخرى من الحمض النووي الريبى المعدّل. بمنح أنواع معيّنة من الجراثيم يستطيع تصنيع بروتينات عديدة تحوي هذه الحموض الأمينية الغريبة. وفي الواقع توجد جراثيم غير طبيعية من هذا النوع محفوظة في محاليل معلّقة في مختبر جيفري تزي - في ونغ في جامعة هونغ كونغ للعلوم والتكنولوجيا استطاع. وونغ أن يدخل بنجاح حمضاً أمينياً مصنّعاً هو الفلوروروتبتوفان إلى فصيلة من الجراثيم تُدعى باسيلس سبتيليس.

وهناك محاولات أخرى أكثر جرأة للتفوّق على الطبيعة، إذ يبحث العلماء عن طرق لتوسيع الشيفرة الوراثية ذاتها؛ فقد نجح باحثون يابانيون باستخدام شيفرة مكوّنة من أربعة أسس لضمّ حموض أمينية غير اعتيادية إلى البروتينات، وتحاول مجموعات أخرى إدخال أسس غير طبيعية إلى الحمض النووي الريبى منزوع الأكسجين بحيث تكون في كفاءة أزواج الأدينين - ثايمين والسيتوزين - غوانين في اللولب المزدوج. كما أنهم يتقدّمون في مجال تحديد أنزيمات

مختلفة تستطيع نسخ شرائط من الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين يحتوي على أسس اصطناعية مما سيفسح المجال لإنشاء جراثيم تستطيع إنتاج بروتينات غير طبيعية.

هذه الأبحاث لها تطبيقات عملية كصنع جراثيم تستطيع تنظيف الطبيعة من الفضلات السامة؛ لكن هذا يعتبر أمراً بسيطاً بالمقارنة مع الهدف الفلسفي وهو فهم لماذا تطوّر الرمز الوراثي بهذا الشكل وما مدى قدرتنا على تقليده.

إن السيطرة على المادة الوراثية البشرية تعتبر أمراً رهيباً. يقول عالم الفيزياء العبقري ستيفن هاوكينغ: «لم يحدث أيّ تغييرات في الحمض النووي الريبي منزوع الأكسجين في العشرة آلاف سنة الماضية. لكننا ستمكّن قريباً من زيادة التعقيد في سجلنا الذاتي أي حمضنا النووي الريبي منزوع الأكسجين دون أن نتظر التطوّر البطيء، كأن نزيد حجم دماغنا على سبيل المثال»، ليس عند هاوكينغ أي شكّ أنّه مهما كانت القوانين التي تنظّم هندسة المادة الوراثية البشرية صارمة فإنّ أحداً ما سيطوّر الإنسان بطريقة ما».

يشعر عدد من العلماء (وهو شعور يمكن فهم أسبابه) بالقلق حول هذا الموضوع. ولكن كما يقول جيمس واتسون «إن علم الوراثة بحدّ ذاته لا يمكن أن يكون شراً، الأمر يعتمد على حسن أو إساءة استخدام هذا العلم».

على كل حال فقد أثار مرض جنون البقر في بريطانيا، والخطر الناجم عن الأغذية المعدّلة وراثياً، جدالاً واسعاً حول الموضوع؛ ويبدو أن العامة تحتاج إلى أكثر من عبارة لطمأنة النفس يُدلي بها حائزٌ على جائزة نوبل. أظهر استطلاع للرأي بعد إعلان المادة الوراثية البشرية في حزيران/يونيو سنة 2000 أن معظم الذين سئلوا يبدوون قلقهم من الإشكاليات الأخلاقية المتعلقة بأبحاث المادة الوراثية البشرية. إن إيجاد قوانين فعّالة ضد شبح إساءة استخدام علم الوراثة سيكون إحدى الطرق التي ستعيد الثقة إلى العامة.

في 8 أيار/مايو 1900 جلس عالم الحيوان البريطاني ويليام باتسون في

مقعد على رحلة على الخط الشرقي الكبير متجهة من كامبردج إلى لندن. قبل أسبوعين فوجيء هذا العالم بإطلاعه على مراجع تتحدث عن تجارب استثنائية عن التزاوج قام بها كاهن بوهمي قبل خمسة وثلاثين عاماً. تابع باتسون التقرير الأصلي الذي ألفه غريغور مندل وقد أثاره ذلك. في حين كان صفير القطار يمزق هدوء الريف في كامبردج شاير كان النصف الأول من علم الوراثة في طريقه إلى البروز. بعد عدة ساعات، وخلال محاضرة أُلقيت في الجمعية الملكية للزراعة أطلق باتسون طلقته الأولى «تحديد دقيق لقوانين الوراثة». يقول متنبئاً: «سوف يؤدي على الأرجح إلى تغيير نظرة الإنسان إلى العالم، وقدرته على التحكم في الطبيعة أكثر مما سيحدثه التقدم في أيّ مجالٍ آخر من مجالات المعرفة». أصبح باتسون مدافعاً متحمساً عن أعمال مندل، وهو الذي صاغ عبارة (علم الوراثة). بعد قرنٍ من الزمن ذهبت اللعبة إلى حدٍّ أبعد مما هو متصور. لقد تحوّل علم الوراثة من حوار مقتصر على فئةٍ قليلةٍ من الناس يدور حول التزاوج بين النباتات إلى موضوع ذي أهمية مذهلة وعلاقة بحياة كلِّ إنسان. سوف يُقسّم عالم الأبحاث الحيوية الطبية إلى نصفين: الأوّل تمثّله طريقة المورثة - مورثة والنسيلة - نسيلة والثاني يمثّله التحليل المركزي الدولي للمادة الوراثية المعتمد على الشعوب. إضافة إلى التأثير الكبير الذي ستركه تحليل المادة الوراثية البشرية على العلاج بالمورثات وعلم الأدوية الوراثي، فإن الثورة الوراثية ستؤدي إلى اختراقات عظيمة. أحد المجالات الواعدة هو استخدام الخلايا الجذعية، وهي خلايا غير متميزة لديها القابلية للتطور إلى أيّ نوعٍ من الخلايا.

أدى عزل خلايا جنينية جذعية بشرية من قبل مجموعتين سنة 1998 إلى إثارة عظيمة وجدال أخلاقي. نشأت الإثارة من إمكانية وضع هذه الخلايا الجذعية في خليط من العناصر التي تستطيع دفع هذه الخلايا لإنتاج الإنسولين عند مرضى السكري، أو تعويض العضلات الضامرة عند مرضى الضمور العضلي. أما الجدل الذي يركّز على مواضيع أخلاقية فهو أن أفضل مصدر

لهذه الخلايا هي الأجنة البشرية، مع العلم أن الخلايا الجذعية البالغة لها تطبيقات مفيدة.

وقد حصل إنجاز رائع في مجال البرمجة الوراثية سنة 1996 تمثل بولادة النعجة دوللي التي استُنسِلت من خلية أُخذت من مثانة نعجة تبلغ ستاً من السنين. منذ ذلك الوقت نجح الباحثون في استئصال الفئران والأبقار والخنازير والمزيد من الخرفان، مما أثار تساؤلاً حول إمكانية استخدام الاستئصال العلاجي عند الإنسان.

إن إخراج الكسر الكامل للشفيرة الوراثية كان الإنجاز الأعظم في تاريخ العلم الحديث، وقد تمّ تحقيقه بفضل مثابرة الكثير من الرجال والنساء. وما زال كريغ فنتر مثيراً للجدل كما كان قبل تسعة أعوام حينما صعد إلى المسرح العلمي، لكن حتى معارضوه يعترفون بأن رؤيته قد أدت إلى تقديم موعد الكسر النهائي للشفيرة الوراثية بمقدار خمس سنوات. لم يفعل ذلك بمفرده فقد عمل كولينز وقادة المشروع الحكومي لمدة سنوات قبل دخول فنتر الدراماتيكي إلى هذا الحقل. لقد عدّلوا المشروع الدولي لإنتاج نسخة تقريبية من المادة الوراثية. وخلال السنوات القليلة القادمة سينتجون النسخة الدقيقة التي ستصبح المرجع إلى آخر الزمان.

يقول جورج أورول في روايته التقليدية التي نشرها سنة 1984: «إن التاريخ يشبه قراءة الكف التي يتم محوها وإعادة قراءتها من جديد حسب الضرورة». إن تحديد تتابع الأسس يشبه قراءة كفّ وراثية لموضوع أُعيدت كتابته عدّة مرّات من خلال عملية التطور. في هذا التتابع - حينما يطوّر العلماء الأدوات والبرامج الكمبيوترية المناسبة - تكمن الأجوبة عن منشأ الحياة وتطوّر البشرية ومستقبل الطب.