

التنفس

Respiration

تتنفس الخلايا لتولد الطاقة التي تحرك بها كل التفاعلات الأيضية التي تحافظ على استمرار الحياة. يُستخدم الأكسجين في التنفس الهوائي لحرق الكربوهيدرات وهي عملية تصنع كثيرًا من الطاقة حتى أن علماء الكيمياء الحيوية لم يستطيعوا تفسير كيف تتم هذه العملية حتى طرح بيتر ميتشل فكرة جذرية جديدة.

أحيانًا يُوصف التنفس الهوائي بأنه عملية فسيولوجية، يحدث فيها تبادل بين غازين في مجرى الدورة الدموية حيث ينتقل غاز الأكسجين عن طريق الهواء أو الماء إلى الخلايا ويتجه ثاني أكسيد الكربون إلى مسار آخر. لكن هذه الطريقة غريبة عند الإمعان في التنفس حيث إنها تتجاهل الغرض منه، مثل القول بأن غرض البطارية أن تحافظ عليها مشحونة! تتنفس الكائنات لتولد طاقة، فالتنفس هو عملية خلوية وقد عرفنا كيف تحدث منذ أكثر من 50 عامًا عندما طرح بيتر ميتشل نظريته «التناضح الكيميائي» أو نظرية الأسموزية الكيميائية.

الخط الزمني

1896م	1929م	1937م
أوضح بوشنر أن عملية التخمر تتم خارج الخلية.	قام لوهمان بفصل جزئي مركب أدنوسين ثلاثي الفوسفات المحمل بالطاقة.	كشف كريس عن دورة تفاعلات حمض الستريك.

مثل كثير من الأفكار الثورية عارض المجتمع العلمي في البداية نظرية التناضح الكيميائي. ربما استقال ميتشل رسميًا من الأكاديمية بسبب عدم مساعدة المجتمع العلمي له، واتجه للعمل في معمل الكيمياء الحيوية الذي أنشأه بينما كان يرسم بيتًا في كورنوال جنوب غرب إنجلترا. لكن في النهاية تم الاعتراف برؤيته الصامدة عندما حاز على جائزة نوبل عام 1978.

توليد الطاقة

يستخدم التنفس الهوائي الأكسجين لحرق الغذاء وإنتاج الطاقة المحملة بجزيء مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات. حيث تقوم هذه العملية على التفاعلات فقط صانعة كمية كبيرة غير متوقعة من هذا المركب وتُعرف بالفسفرة التأكسدية. وفي أربعينيات القرن الماضي، اعتقد علماء الكيمياء الحيوية ضرورة ائزان المعادلات التي تُعرف بـ (آلية الحساب الكمي الكيميائي). عندما تُقاس نسبة مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات لكل جزيء أكسجين، تتحول إلى 2.5 مقدار متناقض مع الكميات الكلية المتوقعة.

«لم يكن الأيض فقط هو
مسبب النقل، لكن يعتبر النقل
أيضًا مسببًا للأيض».

بيتر ميتشل Peter Mitchell

في عام 1929، قام الكيميائي الألماني كارل لوهمان
Karl Lohmann بفصل مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات
(ATP) من العضلات ومستخرجات الكبد، وفي عام
1948، قام الكيميائي البريطاني ألكسندر تود Alexander

Todd بإثبات بنية هذا المركب (لبنات بناء الـ DNA + مجموعة ثلاثي الفوسفات). بين هذين

1964م

يصف بوير كيف يتغير شكل مركب
أدينوسين ثلاثي الفوسفات سينتاز.

1961م

اقترح ميتشل نظرية التناضح
الكيميائي المقترن.

1946م

فصل ليسمان الإثريبات
المشتركة المستخدمة في
دورة كريس.

التاريخين اقترح فريتس ليبمان Fritz Lipmann أن مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات حامل طاقة كلي بفضل «روابط الفوسفات الغنية بالطاقة». وغالبًا ما تعمل الإنزيمات المحفزة للتفاعلات كما كينة إنتاج البروتينات مثل الماكينة التي تعمل بالعملات المعدنية؛ حيث يتم إدخال مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات في فتحة فينبعث أدينوسين ثنائي الفوسفات *adenosine diphosphate* (ADP) الذي يخلف وراءه أحيانًا الفوسفات (P). هذا ما يدفع البروتين إلى أداء مهام أيضية مثل نقل الجزيء عبر الأغشية. ويستخدم مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات في العديد من العمليات الكيميائية الحيوية التي تُعرف بـ«عملة الطاقة» للخلايا.

تعتبر الكربوهيدرات (جزيئات تحتوي على كربون وهيدروجين وأكسجين) هي المكون الرئيسي للغذاء ويكسر الهضم مركبات السكر والدهون والبروتينات إلى جزيئات أبسط من ثلاثة مسارات كيميائية حيوية تولد جزيئات حاملة للطاقة مثل مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات. يعتبر تحليل الجلوكوز هو المسار الأول الذي يحدث في سيتوبلازم الخلية ولا يتطلب الأكسجين، ويبدأ بالجلوكوز (سكر سداسي يحتوي على 6 ذرات كربون) وينتهي بجزيئين من حمض البيروفيك. وتحدث الفسفرة التأكسدية داخل الميتوكوندريا في الخلايا المعقدة باستخدام مسار دائري يُعرف باسم دورة كريبس (نسبة إلى العالم هانز كريبس Hans Krebs الذي استنبط تفاعلاتها عام 1937).

على الرغم من ذلك، ينتج المسار الكيميائي الحيوي الثالث أغلب مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات وهو عبارة عن سلسلة انتقال الإلكترون على الغشاء الداخلي للميتوكوندريا (أو على سطح خلية البكتيريا). توجد تفاعلات وحساب كمي كيميائي دقيق لأول مسارين، وبالرجوع إلى أربعينيات القرن الماضي لم يكن هناك سبب للشك في أن سلسلة نقل الإلكترون ستكون مختلفة.

لكن علماء الكيمياء الحيوية قد خُذعوا لأن السلسلة أنتجت إجمالاً جزيئات مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات أقل من المتوقع، بينما كان يحاول أغلب العلماء إيجاد تفاعلات بسيطة لصنع مزيد من مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات، حيث اعتقد بيتر ميتشل أن عملية التنفس الهوائي ليست ببساطة تخص علم الكيمياء إنما تتبع علم الأحياء.

تدرجات البروتون

تحتوي سلسلة نقل الإلكترون على إلكترونات تمر من جزيء بروتين إلى جزيء آخر بطول الغشاء.

ويحدث ذلك عدة مرات قبل

أن ينهي الأكسجين «مستقبل

الإلكترون» السلسلة. لذلك

السبب تتطلب عملية التنفس

الهوائي الأكسجين. اقترح ميتشل

أن نقل الجزيئات عبر الغشاء قد

يقترن بالتفاعلات الأيضية التي

تصنع مركب أدينوسين ثلاثي

الفوسفات وطرح أن التناضح

الكيميائي مماثل للظاهرة

الأسموزية وهي صافي تدفق

تدرج التركيز الكيميائي في اتجاه

جانب الغشاء المخفف. وفي

نظرية التناضح الكيميائي المقترن

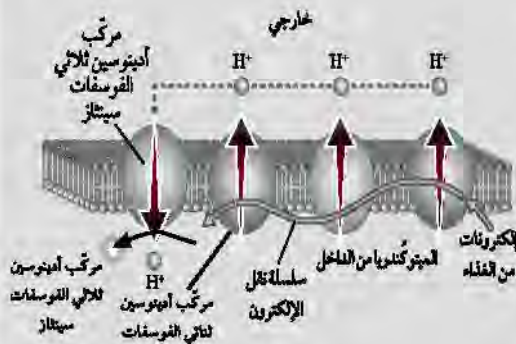
يعتبر المركب الكيميائي هو أيون

الهيدروجين (H⁺).

التنفس اللاهوائي

أثناء عملية التنفس الهوائي، يقسم تحليل الجلوكوز الغذاء إلى جزيئات حمض البيروفيك التي تدخل دورة كريبس لتنتج في النهاية كمية كبيرة من مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات. لكن إذا لم يتواجد الأكسجين، فسيكون تحليل الجلوكوز مصدر الخلية الرئيسي للحصول على ذلك المركب. يحدث هذا عندما تنهك العضلات أو خلال تنفس الكائنات اللاهوائي. يصنع حمض البيروفيك عبر تحليل الجلوكوز ثم يصبح منتج نفاية ويتحول إلى جزيئات أخرى. مثل مادة اللاكتات في العضلات أو مادتي الإيثانول وثنائي أكسيد الكربون في الخميرة. لقد سخر الإنسان منذ العصر الحجري العملية اللاهوائية الأخيرة «التخمير» في تخمير الجعة وعجن الخبز. وفي منتصف القرن التاسع عشر أثبت العلماء أن الخلايا تقوم بعملية التخمر. كما أثبت عالم الأحياء الدقيقة الفرنسي لويس باستور Louis Pasteur أن البكتيريا تحول اللبن إلى حامض وهذا ما أدى إلى البسترة. في عام 1896 قام الكيميائي الألماني إدوارد بوشنر Eduard Buchner بعمل تخمر كحولي باستخدام المستخرجات من خلايا الخميرة، وكانت تلك هي المرة الأولى التي تم فيها إثبات عملية كيميائية حيوية معقدة خارج الخلايا الحية. ثم بعد ذلك درس الباحثون مثل جوستاف إيمبدن Gustav Embden وأوتو ميرهوف Otto Meyerhof التفاعلات الأحادية والإنزيمات في كل خطوة، لذلك في عام 1940 عُرف المسار الكامل لتحلل الجلوكوز، وبالمحاذاة قام كارل لوهمان من معمل ميرهوف بفصل جزيء مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات حامل الطاقة.

التناضح الكيميائي



في عام 1964، اقترح عالم الكيمياء الحيوية الأمريكي بول بوير Paul Boyer أن هذا

الإنزيم يعمل على تغيير شكله، وفي عام 1994 أكد العالم البريطاني جون ووكر John Walker

على محتويات البنية. وفي نفس الفترة، أثبت باحثون آخرون أن نصف سينثاز مركّب أدينوسين ثلاثي الفوسفات يشبه ساقية ماء حيث تندفق البروتونات عبر الساقية وتنشع حركة. مثلما يلف هذا المحرك الجزيئي ويتغير شكل الإنزيم، يتعرض المقر الرابط بشكل متكرر إلى تفاعلات محفزة ويولد مركّب أدينوسين ثلاثي الفوسفات. ويحول التنفس الهوائي الغشاء إلى فتحة ماكينة جالبة للحظ حيث تدرج بها عملات معدنية قليلة (في صورة إلكترونات لضخ البروتونات من خلالها) وفي النهاية تربح أنت الجائزة الكبرى من مركّب أدينوسين ثلاثي الفوسفات في كل الأوقات.

الفكرة الرئيسة

يمد تدفق البروتونات الحياة بالطاقة عبر أغشية الخلية