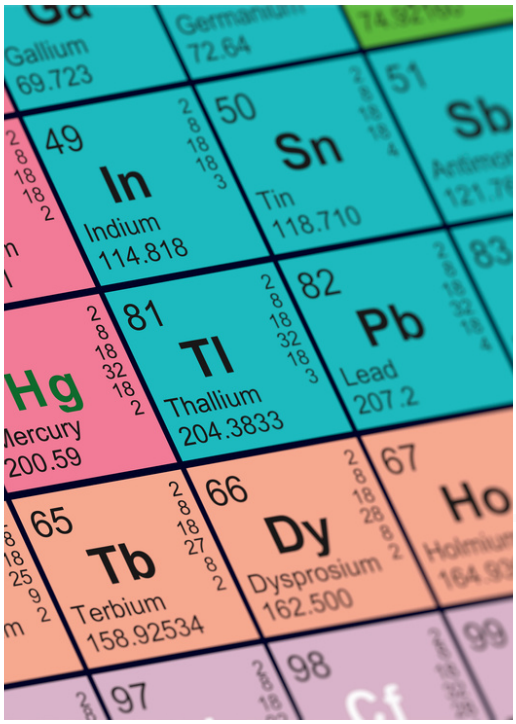
الكيمياء الحيوية غير العضوية

2023 / 2024

By Prof. Dr/ Hemat M. Dardeer
Chemistry department
Faculty of Science
South Valley University



مقدمة

المعادن الانتقالية هي عناصر معدنية مملوءة جزئيًا بمدارات d, بأعداد ذرية 21-30, 39-48, 57, و72-80 في الجدول الدوري. ويشمل ذلك المعادن مثل الحديد والكوبالت والنيكل والنحاس والزنك والفضة والذهب. تظهر المعادن الانتقالية حالات أكسدة متعددة وتشكل أيونات معقدة عن طريق الارتباط بالروابط. تلعب العديد من المعادن الانتقالية أدوارًا مهمة في الأنظمة البيولوجية وهي عناصر نزرة أساسية للحياة.

تعمل أيونات المعادن الانتقالية كعوامل مساعدة أساسية للعديد من الإنزيمات والبروتينات في الكائنات الحية. تسمح حالات الأكسدة المتغيرة للمعادن الانتقالية بالمشاركة في تفاعلات الأكسدة والاختزال وسلاسل نقل الإلكترون. أنها تسهل العديد من العمليات البيولوجية الهامة مثل نقل الأكسجين، وتخليق الحمض النووي، والوظائف العصبية. يمكن أن يؤدي النقص أو التراكم الزائد لبعض المعادن الانتقالية إلى اضطرابات وسمية في الكائنات الحية.

سيقدم هذا الكتاب لمحة عامة عن التأثيرات البيولوجية للعديد من المعادن الانتقالية الرئيسية في جسم الإنسان والكائنات الحية الأخرى. وسيركز على الحديد والتيتانيوم والمنغنيز والكوبالت والزنك - واستكشاف أدوارها الكيميائية الحيوية الأساسية والتوازن والتنظيم في النظم البيولوجية، فضلاً عن آليات السمية الناتجة عن حالات الحمل الزائد.

بالنسبة لكل عنصر، سيتم مناقشة الأدوار البيولوجية الرئيسية، وتنظيم الامتصاص/الإفراز، والاضطرابات الناجمة عن النقص والزيادة، وآثار السمية. سيتم فحص الفهم الحالي للتأثيرات النظامية لهذه المعادن الانتقالية الهامة وأهميتها لصحة الإنسان.

تُظهر المعادن الانتقالية المتنوعة نطاقًا واسعًا من التفاعلات وقدرات الترابط التي تسمح لها بلعب أدوار حاسمة في علم الأحياء. ترتبط المعادن الانتقالية بالروابط العضوية مثل البروتينات والعوامل المساعدة, وتوفر نشاطًا تحفيزيًا للبروتينات المعدنية والإنزيمات لعدد لا يحصى من التفاعلات الكيميائية الحيوية الأساسية. إنها تمنح خصائص محددة تتعلق بحالات الأكسدة المتغيرة, وهندسة التنسيق, وتفضيلات الروابط.

في الأنظمة البيولوجية المعقدة, يتم تنظيم توازن المعادن الانتقالية بشكل صارم من خلال النقل والتخزين وعدد لا يحصى من البروتينات المخصصة لموازنة مستوياتها. يمكن أن يؤدي تعطيل آليات التحكم الدقيق هذه إلى اضطرابات مرضية بسبب النضوب أو السمية. إن دراسة التأثيرات البيولوجية للمعادن الانتقالية توفر نظرة ثاقبة ليس فقط لأهميتها للحياة, ولكن أيضًا للتحديات المتمثلة في الحفاظ على المستويات المثلى ومنع حالات الحمل الزائد الضارة في الكائنات الحية.

يعد هذا الكتاب بمثابة مقدمة لفهمنا الحالي للأدوار البيولوجية المتنوعة التي تلعبها المعادن الانتقالية كعوامل مساعدة أساسية وسموم محتملة. سيتم التركيز على الحديد والتيتانيوم والمنغنيز والكوبالت والزنك - وكيفية عملها في النظم البيولوجية, والمسارات التي تحافظ على مستويات متوازنة, والعواقب التي تنشأ عندما يؤدي التنظيم المختل إلى حالات نقص أو سمية في جسم الإنسان. ستوضح مناقشة هذه المعادن الانتقالية أهمية التوازن الأيضي المناسب للاستفادة من فوائدها مع تقليل مخاطر السمية المحتملة.

الآثار البيولوجية للحديد

الحديد هو معدن انتقالي أساسي يلعب دورًا حاسمًا في العديد من العمليات البيولوجية في جسم الإنسان. تتعلق الوظائف البيولوجية الرئيسية للحديد بقدرته على الانتقال بسهولة بين حالات أكسدة الحديدوز (Fe2+) والحديديك (Fe3+). وهذا يسمح للحديد بالمشاركة في نقل الإلكترون وتفاعلات الأكسدة والاختزال، مما يجعله مكونًا رئيسيًا للبروتينات والإنزيمات المشاركة في نقل الأكسجين واستقلاب الخلايا.

إن الدور البيولوجي الأبرز للحديد هو كونه مكونًا أساسيًا لهيموجلوبين البروتين المعدني الذي ينقل الأكسجين. يحتوي الهيموجلوبين على أربع مجموعات هيم، تحتوي كل منها على ذرة حديد في المركز والتي تربط الأكسجين بشكل عكسي. في الرئتين، يتم تأكسج الهيموجلوبين حيث يرتبط الأكسجين بالحديد. ثم ينتقل الهيموجلوبين المؤكسج عبر مجرى الدم إلى الأنسجة والخلايا، حيث يتم إطلاق الأكسجين. وهذا يسمح للهيموجلوبين والحديد بتوصيل الأكسجين الذي يحافظ على الحياة من الرئتين إلى جميع أجزاء الجسم.

يشكل الحديد أيضًا جزءًا أساسيًا من الميوجلوبين، وهو بروتين تخزين الأكسجين الموجود في الأنسجة العضلية. يرتبط الحديد الموجود في الميوجلوبين بالأكسجين ويخزنه مؤقتًا لتلبية الطلب المرتفع في العضلات النشطة. هذه الأدوار الحاسمة في الهيموجلوبين والميوجلوبين تجعل الحديد ضروريًا لعملية التمثيل الغذائي التأكسدي وإنتاج الطاقة في جميع أنحاء الجسم.

بالإضافة إلى نقل الأكسجين وتخزينه, تشارك البروتينات المحتوية على الحديد في العديد من إنزيمات الأكسدة والاختزال التي تقود التفاعلات الكيميائية الحيوية الحرجة. تشمل الأمثلة إنزيمات السيتوكروم في سلسلة نقل الإلكترون, والتي تستخدم الحديد لقبول الإلكترونات والتبرع بها أثناء إنتاج الطاقة ATP. يمكّن الحديد أيضًا الإنزيمات المضادة للأكسدة مثل الكاتلاز والبيروكسيداز من تحييد الجذور الحرة الخطرة.

يتضمن توازن الحديد امتصاص الحديد ونقله وتخزينه وإعادة تدويره بشكل منظم بإحكام. يتم امتصاص الحديد الغذائي من الاثني عشر والصائم العلوي عن طريق الخلايا المعوية. هرمون الببتيد هيبسيدين هو المنظم الرئيسي لمستويات الحديد الجهازية. عندما تكون مستويات الحديد كافية, يمنع الهيبسيدين إطلاق الحديد من الخلايا المعوية والبلاعم.

عند الحاجة إلى المزيد من الحديد, تنخفض تركيزات الهيبسيدين, مما يسمح بزيادة الامتصاص الغذائي وإطلاق الحديد من مواقع التخزين. يقوم بروتين ترانسفيرين الذي ينقل الحديد بربط الحديد ونقله عبر الدم إلى الأنسجة التي تحتاج إليه بشدة. يتم تخزين أي حديد زائد بواسطة بروتين الفيريتين في خلايا الكبد والبلاعم. تتم إعادة تدوير الحديد من الهيموجلوبين المتدهور من خلال تحلل كريات الدم الحمراء القديمة بواسطة البلاعم.

يتطور نقص الحديد عندما لا يتمكن تناول الحديد وامتصاصه من تلبية احتياجات الجسم. قد ينجم ذلك عن عدم كفاية الحديد الغذائي, أو ضعف الامتصاص بسبب أمراض الجهاز الهضمي, أو فقدان الدم المفرط, أو الحمل, أو الدورة الشهرية, أو زيادة المتطلبات خلال مراحل النمو مثل الطفولة والمراهقة. وتشمل الأعراض فقر الدم, والتعب, وضعف المناعة, والعجز المعرفي.

يتم علاج فقر الدم الناجم عن نقص الحديد, وهو نقص المغذيات الدقيقة الأكثر شيوعًا في جميع أنحاء العالم, عن طريق زيادة تناول الحديد من خلال النظام الغذائي أو مكملات الحديد عن طريق الفم. يحدث الحديد الزائد عندما يتراكم الحديد الزائد في الجسم, وغالبًا ما يكون ذلك بسبب حالات وراثية مثل داء ترسب الأصبغة الدموية الوراثي أو عمليات نقل الدم المتكررة. تؤدي رواسب الحديد الزائدة إلى إتلاف الأنسجة من خلال إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية الضارة. تتم معالجة الحديد الزائد عن طريق سحب الدم لإزالة الحديد الزائد بانتظام.

بالنسبة لمعظم الأفراد الأصحاء, يتم الحصول على الحديد الكافي من خلال نظام غذائي متنوع يحتوي على اللحوم الحمراء والمأكولات البحرية والمكسرات والفاصوليا والخضروات الورقية الخضراء. يمكن أن تساعد مكملات الحديد في تصحيح أوجه القصور ولكن يجب مراقبتها طبيًا لأن الجرعات العالية قد تسبب ضائقة معدية معوية. يعد الحفاظ على مستويات الحديد المناسبة أمرًا ضروريًا لنقل الأكسجين وإنتاج الطاقة والحماية من مضادات الأكسدة وصحة الإنسان ونموه بشكل عام.

باختصار, يلعب الحديد, باعتباره أحد مكونات البروتينات المهمة مثل الهيموجلوبين والميوجلوبين، أدوارًا لا غنى عنها في توصيل الأكسجين واستقلاب الخلايا. يؤدي كل من نقص الحديد وسميته إلى تأثيرات ضارة, مما يسلط الضوء على أهمية توازن الحديد المنظم بإحكام. إن توضيح الوظائف البيولوجية المتنوعة للحديد يوفر نظرة ثاقبة للوقاية من الاضطرابات المرتبطة بالحديد وعلاجها لتحسين الصحة على المستويات الخلوية والجهازية.

الآثار البيولوجية للتيتانيوم

يوجد التيتانيوم بكميات صغيرة في جسم الإنسان ويعتبر من العناصر النزرة غير الأساسية. يتم توزيعه على نطاق واسع في جميع أنحاء الجسم، ويحدث في الأنسجة وسوائل الجسم. يقدر عبء جسم الإنسان البالغ من التيتانيوم بـ 0.1 إلى 0.2 ملغم / كغم. تم العثور على مستويات أعلى في الرئتين بسبب التعرض البيئي. مستويات التيتانيوم في الجسم تأتي من المدخول الغذائي وكذلك مصادر التلوث البيئي.

في النظم البيولوجية، ليس للتيتانيوم دور كيميائي حيوي محدد مثل العناصر النزرة الأساسية. لا يبدو أنه يشارك كعامل مساعد لأي إنزيمات أو بروتينات. ومع ذلك، تشير بعض الدراسات إلى أنه قد يكون له تأثير على العمليات الأنزيمية بتركيزات أعلى. أظهرت الدراسات المختبرية التي أجريت على جسيمات ثاني أكسيد التيتانيوم النانوية تأثيرات على أنشطة الإنزيمات والمسارات الأيضية، على الرغم من عدم تحديد الآثار المترتبة على ذلك بشكل كامل.

الاستخدام الطبي الرئيسي للتيتانيوم هو كمادة زرع لبدائل المفاصل، وزراعة الأسنان، وأجهزة تنظيم ضربات القلب، ومسامير العظام، والألواح. تُستخدم سبائك التيتانيوم التي تحتوي على الألومنيوم والفاناديوم بشكل شائع في هذه الأجهزة. إن خمول التيتانيوم وقوته وتوافقه الحيوي يجعله مفيدًا كمادة زرع جراحية. عند استخدامه في استبدال الورك والركبة، يمكن امتصاص كمية صغيرة من التيتانيوم في الأنسجة المحيطة ودخول الدورة الدموية الجهازية.

الأدلة على سمية التيتانيوم لدى البشر محدودة، لكن دراسات التعرض المهني تشير إلى أن تأثيرات الجهاز التنفسي قد تحدث عند الاستنشاق المزمن لجزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم. وتوصي منظمة الصحة العالمية بتناول كمية يومية مقبولة من الطعام والماء قدرها 0.8 ملغم/كغم من وزن الجسم. تسببت الجرعات العالية في تلف الكبد والكلى في حيوانات المختبر. ومع ذلك، في زراعة الأسنان الطبية وترميم الأسنان، يبدو أن التعرض للتيتانيوم منخفض جدًا ولا يرتبط بسمية كبيرة. لا تزال هناك حاجة إلى مزيد من الأبحاث حول إمكانية التوعية والتأثيرات المناعية.

تساهم التعرضات البيئية والمهنية في تناول التيتانيوم أكثر من النظام الغذائي. يعد استنشاق غبار ثاني أكسيد التيتانيوم هو الطريق الرئيسي للتعرض في البيئات المهنية مثل التعدين أو اللحام. الجسيمات النانوية الموجودة في واقيات الشمس ومستحضرات التجميل والأطعمة قد توفر أيضًا التعرض. لا تتراكم الأطعمة كمية كبيرة من التيتانيوم، على الرغم من أن مستويات أعلى يمكن أن تحدث في الخضار الورقية والأعشاب والشوكولاتة. يستمر تحسين تقديرات حدود التعرض الآمنة للتيتانيوم مع ظهور بيانات سمية جديدة.

يمكن قياس مستويات التيتانيوم في الجسم على عينات الدم أو البول أو الأنسجة باستخدام تقنيات قياس الطيف الكتلي. تتراوح النطاقات المرجعية في الدم عادةً بين 1-3 ميكروغرام/لتر. تتم أحيانًا مراقبة مستويات التيتانيوم في الدم لدى الأشخاص الذين لديهم غرسات معدنية لتقييم التعرض المرتفع. تعتبر مستويات التيتانيوم البولية مؤشرا مفيدا للتعرض الأخير من المصادر البيئية أو الغرسات. بالنسبة لأولئك الذين يتعرضون بشكل مفرط، يمكن أن يكشف الاختبار ما إذا كان هناك تراكم سام في الجسم.

تستمر الأبحاث حول التأثيرات البيولوجية للتعرض للتيتانيوم من البيئات المهنية والمزروعات والبيئة والمصادر الغذائية. في حين يعتبر التيتانيوم سامًا إلى الحد الأدنى عند مستويات التعرض النموذجية، لا تزال هناك شكوك حول تأثيرات التعرض المزمن لجرعات منخفضة وسيناريوهات التعرض المرتفعة. لا تزال هناك حاجة إلى مزيد من الأدلة حول التأثير المحتمل للتيتانيوم على مسارات الإنزيمات والتأثيرات المناعية المحتملة لدى الأفراد الحساسين. يمكن أن يؤدي تتبع مستويات التيتانيوم من خلال المراقبة البيولوجية إلى تحسين تقييم مصادر التعرض والمساعدة في تحديد المخاطر، خاصة بالنسبة للفئات السكانية الضعيفة.

باختصار، لا يزال الدور البيولوجي للتيتانيوم غير محدد بشكل جيد لأنه ليس من العناصر الغذائية الأساسية. ومع ذلك، يمكن أن يحدث التراكم مع التعرض البيئي أو الطبي أو المهني المفرط. المسار الرئيسي للامتصاص هو من خلال الاستنشاق حيث يتراكم التيتانيوم في الرئتين أكثر من الأنسجة الأخرى. تشير الأبحاث حتى الآن إلى انخفاض السمية على المدى القصير عند مستويات التعرض النموذجية. ومع ذلك، لا تزال هناك فجوات في البيانات فيما يتعلق بتقييم مخاطر التعرض المزمن، مما يستلزم التقييم المستمر لدراسات الرصد البيولوجي وتأثيرات الإنزيم المحتملة مع ظهور أدلة جديدة.

لا تشكل مستويات التيتانيوم في عموم السكان مصدر قلق كبير للسمية بناءً على الأدلة الحالية، على الرغم من أن الشكوك لا تزال قائمة حول تأثيرات التراكم طويل المدى في الجسم. يحتاج أولئك الذين لديهم غرسات معدنية إلى مراقبة عرضية لقياس التعرض الجهازي. لا تزال هناك حاجة للبحث عن التأثيرات المناعية المحتملة والتأثير على المسارات الأيضية. يمكن أن توفر المراقبة البيولوجية للدم والبول بيانات عن الامتصاص وعبء الجسم في سيناريوهات التعرض المختلفة. هناك ما يبرر إجراء مزيد من التحقيقات لتحسين حدود السلامة وتوصيف المخاطر، خاصة بالنسبة للمجموعات السكانية والعمال المعرضين للإصابة الذين يتعرضون لاستنشاق غبار وجزيئات التيتانيوم.

وفي الختام، فإن التيتانيوم له استخدامات واسعة النطاق طبيا وصناعيا بسبب قوته وخموله وتوافقه الحيوي. لا يزال الدور البيولوجي للتيتانيوم غير واضح إلى حد ما ويتطلب مزيدًا من الدراسة لتوضيح تأثيرات الإنزيم المحتملة ومخاطر التعرض المزمنة. في حين أن التراكم المفرط يمكن أن يكون سامًا، إلا أن التعرض الغذائي والبيئي النموذجي لدى عامة السكان منخفض. ومع ذلك، فإن مراقبة التعرض المهني تظل مهمة. إن البحث المستمر حول التيتانيوم سيسمح بتحديدات قائمة على الأدلة لعتبات السلامة والمخاطر لتوفير إرشادات مناسبة للصحة العامة.

الآثار البيولوجية للمنغنيز

المنغنيز هو معدن أساسي ضروري للعديد من العمليات البيولوجية في جسم الإنسان. على الرغم من أن المنغنيز مطلوب بكميات صغيرة فقط, إلا أنه يلعب دورًا لا غنى عنه كعامل مساعد للعديد من الإنزيمات الحيوية. ويعتبر أحد أيونات المعادن الانتقالية الأكثر وفرة الموجودة في الكائنات الحية.

الدور الكيميائي الحيوي الأساسي للمنغنيز هو كمنشط أو عامل مساعد للإنزيمات. إن إنزيم ديسموتاز الفائق المعتمد على المنغنيز (MnSOD) هو إنزيم قوي مضاد للأكسدة يدافع عن الحمض النووي للميتوكوندريا ضد الأضرار التأكسدية. كما ينشط المنغنيز الإنزيمات المشاركة في عملية التمثيل الغذائي، ونمو العظام, وتخثر الدم, وتنظيم نسبة السكر في الدم والطاقة الخلوية.

المواقع النشطة للإنزيمات المعدنية مثل الهيدرولاز, الكينازات, ديكاربوكسيلاز والترانسفيراز تتطلب ربط المنغنيز لتعمل. تلعب هذه الإنزيمات المنشطة المنغنيز أدوارًا أساسية في الأنشطة الأيضية المهمة مثل البروتين والكربوهيدرات وتخليق الدهون والأحماض النووية والتمثيل الغذائي. لا يزال الباحثون يشرحون الآليات البيوكيميائية الدقيقة التي ينشط بها المنغنيز هذه الإنزيمات المتنوعة.

في أنسجة العظام, يلعب المنغنيز دورًا في النمو والصيانة والتمثيل الغذائي. وهو أمر حيوي لتطور الهيكل العظمي الطبيعي لأنه يحفز ترسيب المصفوفة العضوية للعظام. نقص المنغنيز لدى الأطفال يمكن أن يسبب تباطؤ نمو العظام وتشوهات الهيكل العظمي. عند البالغين, يساعد المنغنيز في الحفاظ على أنسجة العظام وإعادة تشكيلها. من خلال تنشيط ناقلات الجليكوزيل, فإنه يشارك أيضًا في تكوين مصفوفة البروتيوغليكان المهمة لتمعدن العظام.

يساعد المنغنيز على تنظيم وتسهيل امتصاص ونقل وإفراز المعادن الأخرى مثل الفوسفور والنحاس والزنك. تشير الدراسات إلى أن نقص المنغنيز يمكن أن يخفض مستويات الحديد المنتشرة, مما يشير إلى دور تنظيمي في امتصاص الحديد والتمثيل الغذائي. لا تزال الآليات التي يوازن بها المنغنيز هذه المعادن الأساسية قيد الدراسة.

لتلبية الاحتياجات البيولوجية مع منع التراكم الزائد, يتم التحكم بشكل صارم في امتصاص المنغنيز وإفرازه. يحدث الامتصاص في الأمعاء الدقيقة بناءً على المتطلبات الفسيولوجية ومستويات المدخول الغذائي. يعد إفراز الصفراء من الكبد إلى الأمعاء هو الطريق الأساسي للتخلص من المنجنيز الزائد. الامتصاص المعوي هو نقطة التحكم الرئيسية لتنظيم توازن المنغنيز.

يعد نقص المنغنيز أمرًا نادرًا ولكن يمكن أن يحدث مع انخفاض المدخول الغذائي أو ضعف الامتصاص أو زيادة الطلب. يؤثر النقص سلبًا على نمو العظام, وتحمل الجلوكوز, والوظيفة العصبية, واستقلاب الكوليسترول. ارتبطت متلازمات النقص مثل هشاشة العظام بمستويات غير كافية من المنغنيز. المكملات الغذائية أو زيادة المصادر الغذائية يمكن أن تستعيد حالة المنغنيز المثالية.

على العكس من ذلك، يمكن أن تحدث السمية الناتجة عن التعرض المفرط للمنغنيز مع استنشاق الغبار والجسيمات لفترة طويلة، مما يؤدي إلى حالة تسمى المنغنيز. تشمل الأعراض التغيرات السلوكية والرعشة والحركات البطيئة غير المنضبطة بسبب الضرر العصبي. يتضمن العلاج إزالة مصدر التعرض وتوفير العلاج بالاستخلاب لتقليل مستويات المنغنيز في الأنسجة.

تم تحديد المدخول اليومي الموصى به والحدود العليا المسموح بها بناءً على أبحاث مكثفة حول متطلبات المنغنيز للصحة الطبيعية وعتبات التأثيرات الضارة. في حين أن نقص المنغنيز غير شائع، فإن مخاوف السمية تتعلق بشكل أساسي بالتعرض للاستنشاق المهني بدلاً من المدخول الغذائي. يمكن أن تساعد مراقبة مستويات المنغنيز في الدم في التعرف بسرعة على حالات التراكم الزائد.

باختصار، المنغنيز هو منشط إنزيم أساسي مطلوب بكميات ضئيلة للحفاظ على الصحة. على الرغم من أن الآليات لا تزال قيد التوضيح، إلا أنها تلعب أدوارًا لا غنى عنها في نمو العظام، ووظيفة مضادات الأكسدة، وتوازن المعادن. كل من النقص والتراكم الزائد يمكن أن يؤدي إلى السمية والآثار الضارة. التنظيم الدقيق للامتصاص والنقل والإفراز يحافظ على الحالة المثالية للمنغنيز. يهدف البحث المستمر إلى توصيف أفضل لبيولوجيا المنغنيز للحصول على إرشادات مستنيرة في مجال الصحة العامة.

الآثار البيولوجية للكوبالت

يعد الكوبالت عنصرًا تتبعًا أساسيًا وهو أمر بالغ الأهمية لصحة الإنسان ونموه الطبيعي. في حين أن الكوبالت ليس له دور بيولوجي مباشر مؤكد, إلا أن أهميته تنبع من كونه مكونًا أساسيًا لفيتامين ب 12 (الكوبالامين). يحتوي فيتامين ب12 في جوهره على أيون الكوبالت, والذي لا يمكن استبداله بأي معدن آخر.

فيتامين ب 12 هو فيتامين قابل للذوبان في الماء وهو ضروري للوظيفة العصبية, وتخليق الحمض النووي, وتكوين خلايا الدم الحمراء, واستقلاب الطاقة. باعتباره الأيون المركزي في الكوبالامين, فإن الكوبالت ضروري لفيتامين ب 12 لممارسة تأثيراته الكيميائية الحيوية. يمكن أن يؤدي نقص فيتامين ب 12 إلى فقر الدم والتعب ومشاكل نفسية وأضرار عصبية.

الدور البيولوجي الأساسي للكوبالت هو مشاركته في فيتامين ب 12, الذي يعمل كعامل مساعد إنزيمي لتفاعلين حاسمين. يتطلب سينسيز الميثيونين فيتامين B12 لتخليق الميثيونين والأحماض النووية. يعتمد ميثيل مالونيل CoA Mutase على B12 لاستقلاب الأحماض الدهنية والأحماض الأمينية. وبدون كمية كافية من الكوبالت لتخليق فيتامين ب 12, تضعف هذه التفاعلات الرئيسية.

فيتامين ب 12 والكوبالت ضروريان لتكوين الدم الطبيعي وتكوين خلايا الدم الحمراء. فيتامين ب 12 مطلوب لتخليق الحمض النووي أثناء تكون الكريات الحمر وإنتاج خلايا الدم البيضاء. يمكن أن يؤدي نقص فيتامين ب12 وانخفاض الكوبالت إلى فقر الدم الخبيث, وانخفاض عدد خلايا الدم البيضاء, وعدم اكتمال تكوين الصفائح الدموية, والعدلات ثلاثية الفصوص.

على وجه الخصوص, يمكن أن يؤدي نقص الكوبالت وفيتامين ب 12 إلى تقليل عدد خلايا الدم الحمراء ويؤدي إلى فقر الدم. يشارك الكوبالت في تكون الكريات الحمر حيث يؤثر فيتامين ب 12 على تخليق الهيموجلوبين ونضج سلائف الخلايا الحمراء. يمكن أن يساهم تناول كمية غير كافية من الكوبالت الغذائي أو ضعف امتصاص فيتامين ب12 في الإصابة بفقر الدم.

يحدث التعرض الزائد للكوبالت بشكل رئيسي في البيئات المهنية من خلال استنشاق الغبار وأثناء العمليات الصناعية المختلفة. يعد استنشاق سبائك أو أملاح الكوبالت والاتصال بها من أهم حالات التعرض المثيرة للقلق. يمكن أن يؤدي تناول مستويات عالية من الكوبالت إلى تلف القلب والغدة الدرقية والرئتين.

عند المستويات السامة, يؤدي الكوبالت إلى تأثيرات عصبية وتلف الأعصاب. يمكن أن تؤدي السمية إلى مشاكل في الرؤية وفقدان السمع وضعف العضلات والشلل. تم ربط التعرض العالي جدًا بالأضرار التي لحقت بالقشرة الأمامية للدماغ ومناطق المخيخ. ومن المعروف أن سمية الكوبالت تعطل وظيفة الناقل العصبي.

يعد رصد مستويات الهواء والمستويات البيولوجية أمرًا مهمًا لتقييم التعرض المهني للكوبالت. تساعد مستويات البول أو الكوبالت في الدم في تقييم التعرض الأخير. ومع ذلك, يمكن أن تختلف تركيزات الدم من الكوبالت بشكل كبير بناءً على المدخول الغذائي الحديث. يمكن استخدام علاجات الاستخلاب لعلاج حالات تسمم الكوبالت والمساعدة في التخلص منها.

يوصى باستخدام مكملات الكوبالت فقط في حالات نقص فيتامين ب12, حيث أن الكوبالت الزائد بحد ذاته يمكن أن يكون سامًا. يوفر النظام الغذائي المتوسط ما يكفي من الكوبالت لتخليق فيتامين ب 12 لمعظم السكان. أولئك الذين يعانون من اضطرابات الجهاز الهضمي لديهم خطر متزايد لنقص فيتامين ب12 الذي قد يتطلب مكملات تحت إشراف طبي.

باختصار, يعد الكوبالت مكونًا أساسيًا لفيتامين ب12 وهو أمر حيوي للوظيفة العصبية, وتخليق خلايا الدم الحمراء, وإنتاج الحمض النووي. يؤدي النقص إلى الإضرار بهذه العمليات بينما يسبب التراكم الزائد التسمم, مما يسلط الضوء على أهمية تناول الكوبالت الأمثل. يعد رصد التعرض المهني وحالة الكوبالت أمرًا بالغ الأهمية لحماية الصحة العصبية وأمراض الدم والغدة الدرقية والقلب.

الآثار البيولوجية للزنك

الزنك هو عنصر تتبع أساسي موجود في كل مكان في النظم البيولوجية. بعد الحديد, يعد الزنك المعدن الانتقالي الأكثر وفرة في جسم الإنسان ويعمل كعامل مساعد لمئات الإنزيمات والبروتينات. يلعب الزنك أدوارًا حاسمة متنوعة في الوظائف التحفيزية والهيكلية والتنظيمية داخل الخلايا.

باعتبارها أحد مكونات عوامل النسخ, ترتبط أشكال أصابع الزنك بالحمض النووي الريبي (DNA) والحمض النووي الريبي (RNA) لتنظيم التعبير الجيني. تساعد أصابع الزنك في التحكم في مسارات الإشارات المشاركة في النمو والتكاثر والتمايز وموت الخلايا المبرمج. يحافظ ربط الزنك على البنية الثلاثية لعوامل النسخ هذه لتمكين نشاط ربط الحمض النووي.

في الإنزيمات المعدنية, تؤدي أيونات الزنك أدوارًا تحفيزية أثناء التفاعلات الأنزيمية والتحولات الكيميائية الحيوية. تشتمل الإنزيمات المعدنية المهمة للزنك على الأنهيدراز الكربونيك, والكربوكسيببتيداز, ونازعة هيدروجين الكحول, والبروتينات المعدنية المصفوفية. الزنك ضروري للتحفيز الأنزيمي والبنية والاستقرار.

يتمتع الزنك بوظائف مضادة للأكسدة من خلال حماية مجموعات السلفهيدريل من الأكسدة وتثبيط إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية. كجزء من ديسموتاز فوق أكسيد النحاس/الزنك، يلعب الزنك دورًا رئيسيًا في القضاء على جذور الأكسيد الفائق الحرة لمنع الضرر التأكسدي للخلايا.

من خلال تنظيم موت الخلايا المبرمج وإنتاج الوسيط المناعي، يلعب الزنك وظائف مهمة في جهاز المناعة. ينظم الزنك مسارات الإشارات داخل الخلايا المشاركة في تطوير الخلايا المناعية والتواصل. يؤدي نقصه إلى إضعاف نشاط الخلايا المناعية، مما يؤدي إلى زيادة التعرض لمسببات الأمراض.

يساعد الزنك في تثبيت بنية البروتين، وتنظيم نسخ الجينات، والتأثير على مسارات إشارات الخلية. مجالات ربط الزنك التي تسمى أصابع الزنك تتوسط في تكرار الحمض النووي، ونسخ الحمض النووي الريبي (RNA)، وطي البروتين. يلعب الزنك دورًا رئيسيًا في تعديل تخليق البروتين وتكاثر الخلايا.

يدعم الزنك عملية التمثيل الغذائي للحمض النووي الريبي (DNA) والحمض النووي الريبي (RNA) من خلال تنشيط الإنزيمات مثل بوليميريز الحمض النووي الريبي (DNA) والحمض النووي الريبي (RNA). فهو يساعد على تنظيم دورة الخلية وهو ضروري لنمو الخلايا. تربط بروتينات إصبع الزنك الحمض النووي لتنسيق تكرار الحمض النووي وإصلاحه.

يمكن أن يحدث نقص الزنك بسبب عدم كفاية المدخول الغذائي، أو سوء الامتصاص، أو زيادة الخسائر. يؤثر النقص سلبًا على النمو والتطور والوظيفة العصبية والتئام الجروح والمناعة ونشاط الغدة الدرقية وتخليق البروتين. يمكن للمكملات أن تعكس أوجه القصور، خاصة عند الأطفال والمجموعات المعرضة للخطر.

السمية الناتجة عن الزنك الزائد نادرة ولكنها يمكن أن تتداخل مع امتصاص النحاس، وتغير وظيفة الحديد، وتضعف نشاط الخلايا المناعية. تشمل أعراض التسمم الغثيان والإسهال والصداع. تناول كميات كبيرة من الزنك يمكن أن يسبب نقص النحاس مما يؤدي إلى مشاكل عصبية وفقر الدم.

باختصار، يلعب الزنك أدوارًا كيميائية حيوية متنوعة في الوظائف التحفيزية والهيكلية والتنظيمية في الخلايا والكائنات الحية. وهو ضروري على المستويات الفسيولوجية ولكنه سام بشكل زائد. يجب الحفاظ على توازن الزنك الخلوي والجهازي من خلال تناول نظام غذائي متوازن والتحكم في الامتصاص والتخزين والإفراز.

الآثار البيولوجية للبلاتين

البلاتين هو معدن انتقالي برقم ذري 78 في الجدول الدوري. البلاتين في شكله المعدني خامل بيولوجيًا ويعتبر غير سام. ومع ذلك, فإن بعض مركبات البلاتين لها نشاط بيولوجي وتستخدم في التطبيقات الطبية مثل العلاج الكيميائي للسرطان.

يوجد البلاتين بكميات ضئيلة في جسم الإنسان ولكن ليس له دور بيولوجي معروف. ولا يعتبر عنصرا أساسيا. تتراوح تقديرات إجمالي محتوى البلاتين في الجسم من 0.1 إلى 3 ميكروجرام. ويأتي التعرض في المقام الأول من المصادر البيئية, والإعدادات المهنية, والعلاجات الطبية التي تشمل مركبات البلاتين.

تنبع التأثيرات البيولوجية الأكثر أهمية للبلاتين من استخدامه في أدوية العلاج الكيميائي مثل سيسبلاتين, كاربوبلاتين, وأوكسالبلاتين. تعمل هذه العوامل القائمة على البلاتين عن طريق الارتباط بالحمض النووي وتعطيل التكاثر, مما يتسبب في توقف دورة الخلية وموت الخلايا المبرمج في الخلايا السرطانية. يعالج هذا النشاط السام للخلايا سرطانات الخصية والمبيض والرأس والرقبة والرئة والقولون والمستقيم.

يتم إعطاء أدوية العلاج الكيميائي البلاتينية عن طريق الوريد, مما يسمح للبلاتين بالتوزيع بشكل نظامي. تدخل هذه المركبات إلى الخلايا وتشكل روابط متشابكة للحمض النووي داخل السلسلة وداخلها, والتي تنشط آليات إصلاح الحمض النووي وتحفز مسارات موت الخلايا المبرمجة. يتم تثبيط تكرار الحمض النووي للخلايا السرطانية, مما يحد من نمو السرطان.

لسوء الحظ, يؤثر العلاج الكيميائي البلاتيني أيضًا على الحمض النووي للخلايا السليمة, مما يسبب آثارًا جانبية مثل الغثيان والقيء والاعتلال العصبي والسمية الكلوية والسمية الأذنية. تحدث هذه لأن تلف البلاتين ليس خاصًا بالخلايا السرطانية. تهدف تعديلات الجرعة والترطيب إلى زيادة التأثيرات المضادة للورم إلى الحد الأقصى مع تقليل التفاعلات الضارة.

خارج نطاق تطبيقات العلاج الكيميائي, يحدث التعرض للبلاتين بشكل رئيسي بشكل مهني أثناء عمليات تعدين البلاتين وتكريره. الاستنشاق هو الطريق الرئيسي للتعرض. وقد أدى التعرض المهني العالي جدًا إلى تفاعلات حساسية مثل الربو أو التهاب الجلد التماسي لدى العمال.

تساهم انبعاثات البلاتين البيئية الناتجة عن المحولات الحفازة للسيارات في تعرض الإنسان من خلال الاستنشاق أو الابتلاع. ومع ذلك, فإن مستويات البلاتين في مياه الشرب والغذاء والتربة عادة ما تكون منخفضة للغاية. تعتبر أملاح البلاتين القابلة للامتصاص هي الأكثر سمية, في حين أن معدن البلاتين نفسه يُظهر انخفاض التوافر الحيوي والتفاعلية.

تشير بيانات المراقبة الحيوية البشرية إلى وجود البلاتين في جميع الأنسجة بعد تناول السيسبلاتين, ولكن لم يتم اكتشافه في أنسجة الأفراد غير المعرضين. تراقب مستويات البلاتين في البول حالات التعرض الحديثة, بينما تقوم البلازما أو البلاتين في الدم بتقييم الحالة على المدى الطويل. يسمح قياس الطيف الكتلي للبلازما المقترنة حثيًا بتقدير كمية البلاتين في العينات البيولوجية.

على الرغم من أن البلاتين ضروري للعلاج الكيميائي، إلا أنه لا يبدو أنه يلعب أي دور بيولوجي طبيعي في جسم الإنسان. تهدف الأبحاث الإضافية إلى تعزيز توصيل دواء البلاتين إلى الأورام مع تجنب التأثيرات الضارة على الخلايا السليمة. إن مراقبة تعرض العمال وتحسين ضوابط الانبعاثات في صناعات السيارات يمكن أن تحد من المخاطر الصحية البيئية والمهنية.

باختصار، يشتق النشاط البيولوجي للبلاتين من آثاره السامة للخلايا عند تناوله كأدوية علاج كيميائي تعتمد على البلاتين. لا تزال هناك حاجة إلى مزيد من البحث لتوضيح الحرائك الدوائية والتأثيرات النظامية والتخلص من الآثار طويلة المدى للتعرض للبلاتين من المصادر البيئية والمهنية والطبية بشكل كامل.

خاتمة

في الختام، فإن المعادن الانتقالية التي تمت مراجعتها في هذا الكتاب - الحديد والتيتانيوم والمنغنيز والكوبالت والزنك والبلاتين - تعرض نطاقًا واسعًا من الأنشطة والتأثيرات البيولوجية في الكائنات الحية. على الرغم من أن الحديد والمنغنيز والكوبالت والزنك فقط تعتبر عناصر أساسية، إلا أن جميع المعادن الانتقالية التي تمت مناقشتها لديها القدرة على التأثير على العمليات البيوكيميائية والخلوية وتتطلب تنظيمًا دقيقًا للحفاظ على المستويات المثلى.

الحديد ضروري لنقل الأكسجين والتمثيل الغذائي، ويشكل الكوبالت جوهر فيتامين ب 12، وينشط المنغنيز الإنزيمات المهمة، ويلعب الزنك أدوارًا هيكلية وتحفيزية لا غنى عنها في البروتينات. يمكن أن يؤثر النقص في هذه المعادن الانتقالية الأساسية بشدة على إنتاج خلايا الدم الحمراء، والوظيفة العصبية، وتطور العظام، والمناعة، وتخليق الحمض النووي. تنتج السمية أيضًا عندما تتراكم الكميات الزائدة في الأنسجة.

على الرغم من أن التيتانيوم والبلاتين ليسا ضروريين، إلا أنهما يستخدمان بشكل متزايد طبيًا كمواد زرع وأدوية للعلاج الكيميائي. وهذا يؤدي إلى تعرض جهازي أكبر يتطلب مراقبة السمية المحتملة مع التراكم المزمن. وحتى بالنسبة للمعادن الانتقالية غير الأساسية، فإن وجودها يؤدي إلى تأثيرات بيولوجية تستدعي الدراسة والمراقبة.

من خلال توضيح الأنشطة البيولوجية وأهمية المعادن الانتقالية، نكتسب رؤية نقدية لتنظيم مستوياتها ونشاطها. تسمح هذه المعرفة بمنع حالات النقص وكذلك السمية الناتجة عن التعرض الزائد. تجعل المعادن الانتقالية الحياة ممكنة من خلال تسهيل نقل الأكسجين وتنشيط الإنزيمات والحماية من مضادات الأكسدة والاستقرار الهيكلي وتخليق الحمض النووي. ويهدف البحث المستمر إلى زيادة توصيف آليات عملها ومراقبة التعرض الآمن. وبشكل قاطع، فإن المعادن الانتقالية لا تقدر بثمن بالنسبة للأنظمة البيولوجية، مما يسلط الضوء على الحاجة إلى فهم استخدامها الأمثل مع تقليل الآثار السامة المحتملة.

مراجع

Iron

- Centers for Disease Control and Prevention - Iron and Iron Deficiency https://www.cdc.gov/nutrition/micronutrient-malnutrition/iron.html
- The National Academies Press - Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222310/
- Iron Disorders Institute - Iron Overload https://irondisorders.org/iron-overload/

Titanium

- Toxicology of Metals - Titanium https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/titanium
- International Journal of Implant Dentistry - Biological Effects of Titanium Dental Implant Surfaces https://ijimplantdent.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40729-020-00289-x

Manganese

- Toxicological Profile for Manganese - Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp151.pdf
- Journal of Trace Elements in Medicine and Biology - Manganese: A Review of Exposure, Effects and Mechanisms
- https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0946672X18305947

مراجع

Cobalt

- Toxicological Profile for Cobalt - Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry
- https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.pdf
- Journal of Applied Toxicology - Health Effects and Toxicological Aspects of Cobalt
- https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jat.3487

Zinc

- The National Academies Press - Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc
- https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222310/
- Toxicology Letters - Zinc Toxicity
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037842749290035P

Platinum

- Chemotherapy and You - Cisplatin
- https://www.cancer.gov/publications/patient-education/chemotherapy-and-you/cisplatin
- Journal of Trace Elements in Medicine and Biology - Platinum - A Review of Biomonitoring and Toxicology
- https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0946672X18306167