جزء صغير يكشف عن مكنون كل شيء:
تقنيات النظائر تساعد التغذية

الشكل ١: تحديد كمية الدهون في جسم الإنسان عن طريق قياس إجمالي نسبة الماء في الجسم باستخدام النظائر.

يمكن استخدام النظائر المستقرة لقياس كمية الماء أو العناصر الغذائية الأخرى في الجسم أو مقدار ما يتم امتصاصه وتمثيله غذائياً أو إفرازه من عناصر مغذية يتم تناولها. ويمكن استخدامها أيضاً لقياس معدل امتصاص البروتينات أو الدهون أو الكربوهيدرات أو الاستفادة منها أو تخليقها.

كما يمكن استخدام النظائر المستقرة للكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والحديد والزنك في دراسات تقييم الحالة التغذوية واستهلاك الطاقة وممارسات الرضاعة الطبيعية، وحالة المغذيات الدقيقة وامتصاص العناصر المغذية من الأطعمة التي نتناولها.

وتشمل النظائر المستقرة التي يشيع استخدامها الديوتيريوم (الهيدروجين-٢)، والأكسجين-١٨، والكربون-١٣، والنيتروجين -١٥. وهناك نظائر الحديد التي تشمل الحديد-٥٧ والحديد-٥٨، ونظائر الزنك التي تشمل الزنك-٦٧ والزنك-٦٨ والزنك-٧٠. وتنشأ كل النظائر المستقرة بشكل طبيعي، وإن كان يمكن تخليق عناصر أو مركّبات تكون مثراة مقارنةً بالمقادير الموجودة طبيعياً. وتتم عملية التمثيل الغذائي لهذه النظائر أو المركّبات المرقومة بالنظائر في الجسم بذات طريقة التمثيل الغذائي للأنواع الطبيعية، ولكن تضاف إلى ذلك فائدة إمكانية تتبُّعها. والنظائر المستقرة ليست مشعة وبالتالي فهي لا تنطوي على أي مخاطر للناس من جميع الأعمار.

ويتكون الماء من نظائر الهيدروجين والأكسجين. والماء الطبيعي يتكون أساساً من الهيدروجين[١] والأكسجين[١٦]، ولكنه يحتوي على كمية ضئيلة للغاية من الهيدروجين[٢] (الديوتيريوم) والأكسجين[١٨]. ومع ذلك، يمكن تخليق الماء بحيث يحتوي على نسبة أعلى بكثير من الديوتيريوم أو الأكسجين-١٨ مقارنةً بالمياه الطبيعية. ونطلق على هذا الماء اسم الماء المثرى. وأكسيد الديوتيريوم (D_2O) هو الماء المثرى الذي تتخذ فيه نسبة ٩٩,٨٪ من ذرات الهيدروجين شكل هيدروجين-٢.

تقييم تكوين الجسم

يمكن تحديد كمية الدهون في جسم الإنسان عن طريق قياس النسبة الإجمالية للماء في الجسم باستخدام النظائر. ويمكن النظر إلى جسم الإنسان باعتباره مكوناً من فئتين: كتلة الدهون، والكتلة الخالية من الدهون. ولا تحتوي كتلة الدهون على ماء، في حين أن نسبة تتراوح بين ٧٣ و٨٠٪ من الكتلة الخالية من الدهون تتألف من الماء. وتحتوي الكتلة الخالية من الدهون لدى الطفل الحديث الولادة على ٨٠٪ ماء، وتقل هذه النسبة تدريجياً لتصل إلى ٧٣٪ لدى البالغين. ويعني ذلك أنه يمكن تحديد الكتلة الخالية من الدهون عن طريق قياس نسبة الماء في الجسم ثم استخدام عامل إماهة مناسب. وكتلة الدهون هي الفرق بين وزن الجسم والكتلة الخالية من الدهون. ويعبَّر في بعض الأحيان عن النتائج كنسبة مئوية من إجمالي وزن الجسم.

وتنطوي تقنية تخفيف الديوتيريوم (الشكل ١) على قياس لعاب الشخص و/أو بوله مباشرةً قبل تناوله جرعة من الماء المرقوم بالديوتيريوم وتكرار العملية بعد فترة تتراوح بين ٣ و ٥ ساعات. وتَظهَر زيادة مستوى الديوتيريوم في عينات لعاب الشخص وبوله.

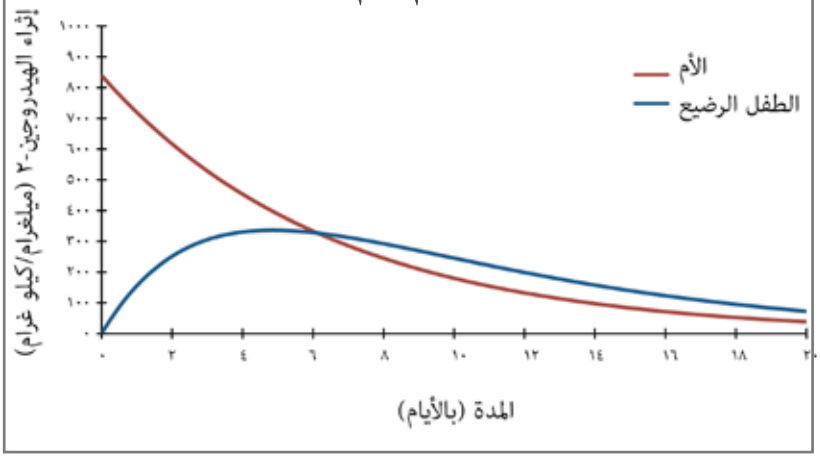
وتكشف عينات البول أو اللعاب المأخوذة من الشخص الخاضع للاختبار بعد موازنة النظائر زيادة في مستويات الديوتيريوم. ويتوزع الديوتيريوم بالتساوي في جميع أجزاء الجسم بعد مدة تتراوح بين ٣ و٥ ساعات.

وتقارَن عينات البول أو اللعاب المأخوذة من الشخص قبل تناوله الجرعة مع العينات المأخوذة بعد الجرعة لحساب إجمالي نسبة الماء في الجسم والكتلة الخالية من الدهون ثم في نهاية المطاف مقدار الدهون في الجسم. ويُعتبَر تكوين الجسم مؤشراً جيداً للحالة الصحية. وتزداد احتمالات التعرض لأوضاع صحية خطيرة بزيادة أو انخفاض مقدار الكتلة الخالية من الدهون أكثر من اللازم.

االشكل ٢: الجرعة المقدَّمة إلى الأم

تستهلك الأم أكسيد الديوتيريوم. ويمتزج الديوتيريوم بالماء في جسمها، بما في ذلك الحليب الذي يتناوله طفلها الرضيع. ويتم إثراء لعاب كلٍّ من الأم والطفل بالديوتيريوم. ويمكن قياسه باستخدام معدات حساسة.

الشكل ٣: إثراء الديوتيريوم في الماء الذي يحتويه جسم الأم ورضيعها



تقييم ممارسات الرضاعة الطبيعية

تلعب التغذية دوراً حيويا في تنمية الطفولة المبكرة. ويمكن لتقنيات النظائر أن تساعد على تحديد ما إذا كانت تغذية الطفل تقتصر على الرضاعة الطبيعية أم لا، وكذلك مقدار الحليب البشري الذي يستهلكه الطفل. وقد تستغرق الأساليب التقليدية لتحديد كمية الحليب التي يستهلكها الطفل الكثير من الوقت. كما أنها يمكن أن تتسبَّب في اضطراب نمط تغذية الطفل، إذ تتطلب هذه الأساليب وزن الطفل قبل كل رضعة وبعدها. وهناك تقنية بديلة تتميز بدرجة أكبر كثيراً من الدقة والفائدة تُعرَف باسم تقنية جرعة أكسيد الديوتيريوم المقدَّمة إلى الأم. وهذه هي الطريقة الوحيدة لتحديد ما إذا كان الطفل يعتمد حصرياً على الرضاعة الطبيعية أم لا.

أم مرضعة تتناول جرعة أكسيد ديوتيريوم تتوزع في جميع أجزاء جسمها وتُفرَز في حليبها (الشكل ٢). وتُجمَع عينات من لعاب أو بول الأم والطفل على مدى ١٤ يوماً، وتكشف هذه العينات عن التغييرات في تركيز النظائر. ويعطي ذلك فكرة عن تناول الرضيع للحليب البشري وما إذا الرضيع كان قد استهلك ماءً من مصادر أخرى، فضلاً عن تكوين جسم الأم.

وبعد تناول الأم جرعة الماء المرقوم، يختفي الديوتيريوم تدريجياً من جسمها ويظهر في جسم الرضيع (الشكل ٣). ولا يدخل الديوتيريوم جسم الرضيع إلا عن طريق الحليب الذي يستهلكه أثناء الرضاعة الطبيعية. وبينما يتخلص جسم الأم من الديوتيريوم، يتراجع الإثراء في حليبها وينخفض بالتالي أيضاً الإثراء في جسم الرضيع. ويُستخدم نموذج رياضي لتحديد كمية ما يظهر في لعاب الرضيع من الديوتيريوم الذي تتناوله الأم. ويرتبط ذلك بكمية الحليب البشري التي يستهلكها الرضيع. كما يقدِّر النموذج كمية الماء التي يحصل عليها من مصادر أخرى غير حليب أمه، وبالتالي ما إذا كان الرضيع يرضع رضاعة طبيعية حصراً أم لا.

تقييم إجمالي استهلاك الطاقة

عند تحديد مقدار الاحتياجات الغذائية للشخص، من المهم أولاً أن نستنتج مقدار الطاقة التي يستهلكها. وإذا كان الماء المرقوم بالهيدروجين-٢ (أكسيد الديوتيريوم) مختلطاً بالماء المرقوم بالأكسجين-١٨، يعرَف الخليط حينئذٍ بأنه الماء المزدوج الترقيم. ويمكن للباحثين استخدام الماء المزدوج الترقيم في تقدير الاستهلاك الإجمالي اليومي للطاقة (الشكل ٤). ويُستخدَم أيضاً إجمالي الطاقة المستهلكة في تحديد مستوى النشاط البدني للشخص.

ويتناول المشارك جرعة من الماء المزدوج الترقيم، الذي يتوزع في كل ماء الجسم. ويفقد الشخص في كل مرة يتنفس أو يتمرن فيها بعض الأكسجين والهيدروجين المرقوم في بوله وعرقه وتنفسه. ولا يُفقد الديوتيريوم إلا في الماء، بينما يُفقد الأكسجين-١٨ في كلٍّ من الماء وثاني أكسيد الكربون. والفرق في معدلات التخلص من الديوتيريوم

الشكل ٤: أسلوب الماء المزدوج الترقيم

بعد تناول جرعة من الماء المزدوج الترقيم، يتم إثراء ماء الجسم بالديوتيريوم والأكسجين-١٨ وبمرور الوقت، يختفي الديوتيريوم (النقاط البرتقالية) والأكسجين-١٨ (النقاط الحمراء) من الجسم، ويمثل معدل التراجع هذا مؤشراً مباشراً لاستهلاك الطاقة.

والأكسجين-١٨ هو مقياس لمعدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون، ويمكن أن يُحسَب منه استهلاك الطاقة (الشكل ٥). وتكشف عينات البول خلال فترة ١٤ يوماً عن تراجع في النظائر التي تدخل الجسم. ويدل التراجع بمعدل بطيء للغاية على انخفاض مستوى استهلاك الطاقة، بينما يدل التراجع بدرجة أكثر سرعة وحدّة على ارتفاع في مستوى استهلاك الطاقة. وتُعَدّ تقنية الماء المزدوج الترقيم مثالية لقياس إجمالي الاستهلاك اليومي للطاقة في ظروف المعيشة اليومية العادية، وتستخدم الوكالة هذه التقنية في مشاريع مصمَّمة لمعالجة البدانة في مرحلة الطفولة والارتقاء بنوعية حياة كبار السن.

تقييم مستودعات فيتامين ألف في الجسم

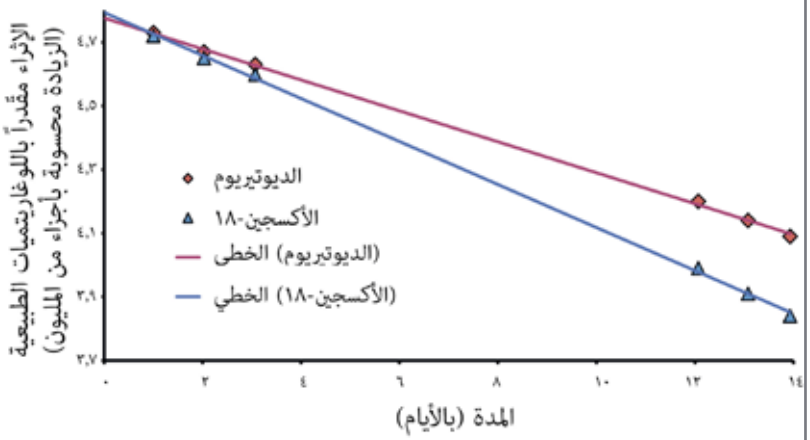
تُستخدَم تقنية تخفيف النظائر المستقرة في الدراسات الهادفة لتحديد التغير الذي يطرأ على فيتامين ألف في الجسم أثناء تدخل ما (مثل التعزيز بفيتامين ألف، ونُهج المكملات الغذائية أو القائمة على أساس غذائي التي تشجع على استهلاك مجموعة واسعة من الأطعمة المغذية). وأساليب النظائر المستقرة (الشكل ٦) هي الطريقة الوحيدة التي يمكن بها التأكد من وجود مستويات مرتفعة أكثر من اللازم من فيتامين ألف دون تدخل اقتحامي. ومن الممكن حدوث ذلك عندما تنفَّذ برامج مكملات فيتامين ألف وتعزيز الأغذية في ذات المجتمعات المحلية.

ويمكن استخدام النظائر المستقرة للهيدروجين (^{2}H) والكربون (^{13}C) لترقيم فيتامين ألف.

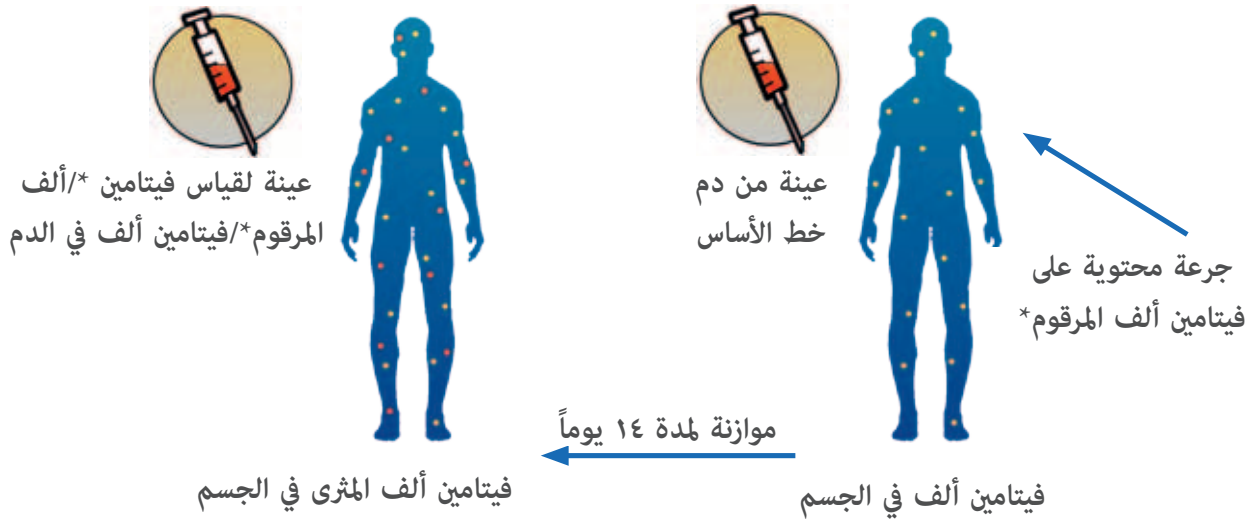
تقييم التوفر الحيوي للحديد والزنك

من المهم تقييم التوفر الحيوي (الامتصاص والاستفادة) للعناصر المغذية المستمَدّة من الأطعمة لأن الناس تتناول في العادة أكثر من نوع واحد من الطعام في المرة الواحدة، وربما تحتوي بعض الأغذية على عناصر تعزِّز أو تثبِّط الامتصاص. ويمكن أن تكشف دراسات التوفر الحيوي للحديد والزنك في الأطعمة باستخدام النظائر المستقرة عن فروق كبيرة في امتصاص العناصر الغذائية بين مختلف توليفات الأطعمة. وتُستخدم النظائر المستقرة للحديد والزنك في تحديد التوفر الحيوي للمعادن من طعام اختباري معزَّز أو معزِّز حيوياً أو مستهلك في ذات الوجبة كمثبِّط محتمل (مثل حمض الفيتيك في الحبوب غير المنقّاة والمكسرات والبذور والبقوليات) أو كمعزِّز (مثل فيتامين جيم) لامتصاص المعادن. ويمكن إضافة النظائر المستقرة للحديد والزنك إلى طعام اختباري.

الشكل ٥: معدل إزالة الديوتيريوم و الأكسجين-١٨من الجسم



تقيس درجات الخطوط في الرسم البياني أعلاه معدل إزالة الديوتيريوم والأكسجين-١٨ من الجسم. ويُفقد الأكسجين بمعدل أسرع من الديوتيريوم لأن الأكسجين يُفقد في الماء وثاني أكسيد الكربون، بينما يُفقد الديوتيريوم في الماء فقط. ولذلك يمثل الفرق بين درجات الخطوط تقديراً مشتقاً لمعدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون.



الشكل ٦: تقييم حالة فيتامين ألف

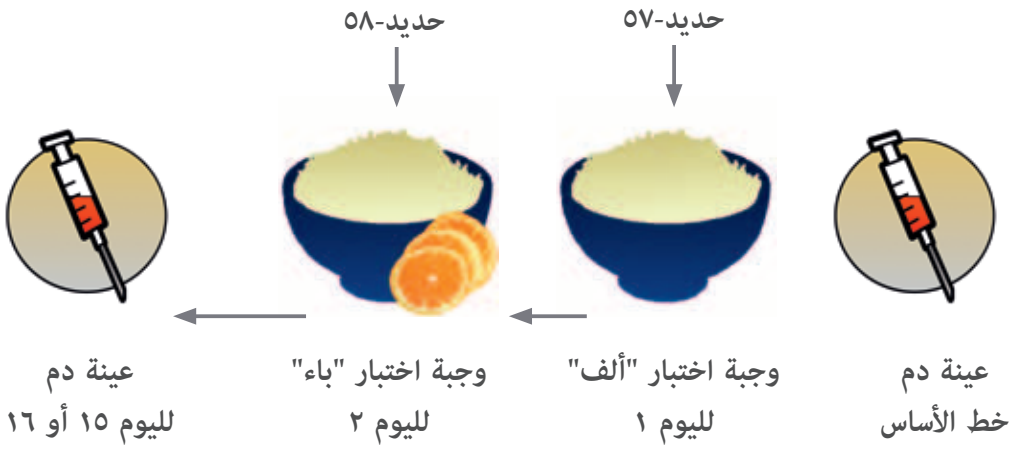
لتقييم حالة فيتامين ألف، تعطى جرعة من فيتامين ألف المرقوم بنظير مستقر بعد أخذ عينة من دم خط الأساس. ويلزم وجود فترة لموازنة جرعة فيتامين ألف مع وسط الجسم قبل أخذ عينة دم المتابعة لتحليلها باستخدام قياس الطيف الكتلي. ويمكن حساب إجمالي كمية فيتامين ألف القابل للمبادلة في الجسم عن طريق تخفيف الجرعة المقاسة بدقة لفيتامين ألف المرقوم بنظير. وهذه هي أكثر الطرق حساسية لتقدير حالة فيتامين ألف دون تدخل اقتحامي بامتداد كل النطاق الذي يتراوح بين القصور والمستوى الطبيعي والمستوى المفرط.

ويبيِّن الشكل ٧ تصميم دراسة لتقييم دخول الحديد إلى خلايا الدم الحمراء بعد استهلاك وجبة قائمة على أساس الحبوب وتناول ذات الوجبة بعد أن يضاف إليها البرتقال الذي يحتوي على فيتامين جيم – وهو أحد العناصر التي تعزِّز امتصاص الحديد.

وتُجمع عينة من دم خط الأساس وتُستهلَك وجبة اختبار (ألف) محتوية على مقدار معلوم من نظير مستقر للحديد (الحديد-٥٧). وتُستهلَك في اليوم التالي وجبة اختبار (باء) تحتوي على مقدار معلوم من نظير مستقر ثانٍ من الحديد (الحديد-٥٨) ومعزِّز محتمل أو مثبِّط لامتصاص الحديد. ويتلقّى نصف المشاركين في الدراسة وجبات الاختبار بالترتيب العكسي.

وتؤخذ عينة دم ثانية بعد أسبوعين. وبعد تجهيز عينات الدم، تُحلل نظائر الحديد باستخدام مطياف كتلي مناسب. وتُستخدَم نسب نظائر الحديد المستقرة قبل استهلاك وجبات الاختبار وبعدها لتحديد كمية الحديد التي امتُصّت من الوجبات ودخلت خلايا الدم الحمراء، ويكشف ذلك بالتالي عن تأثير المعزِّزات أو المثبِّطات التي تحتوي عليها الوجبة.

بقلم مايكل أمدي مادسن، مكتب الوكالة للإعلام العام والاتصالات



الشكل ٧: تقييم امتصاص الحديد