العناصر المعدنية الصغرى
Trace Minerals or Microelements

● المقدمة ● الحديد ● النحاس ● الزنك ● المنجنيز ● اليود ● السيلينيوم
● المولبيدنيوم ● الكروم ● الفلور ● الكوبلت ● الفانيديوم ● القصدير
● النيكل ● السليكون ● الزرنيخ

(١٠,١) المقدمة Introduction

تعرف العناصر المعدنية الصغرى بأنها العناصر التي تبلغ كميتها في الجسم أقل من ٥ جراما (٠,٠١٪ من وزن الجسم أو أقل)، ويحتاج منها الشخص يوميًا إلى حوالي ٠,٠١ جرام أو أقل، وتشمل الحديد iron والنحاس copper والزنك zinc والمنجنيز manganese والكوبالت cobalt واليود iodine والسلينيوم selenium والمولبيدنيوم molyb-denum والكروم chromium والفلور fluorine والفاناديوم vanadium والقصدير tin والنيكل nickle والسليكون silicon .

كذلك يحتوي جسم الإنسان على كميات ضئيلة جدًا (آثار Trace) من عناصر معدنية أخرى، لا تعرف وظيفتها في الجسم، ومثالها الاسترونشيوم strontium والبورون boron والذهب gold والزرنيخ arsenic والفضة silver والبزموت bismuth والألومنيوم aluminum والبروم bromine . ويحصل الجسم على معظم احتياجاته من العناصر المعدنية من الغذاء في صورة أملاح أو مركبات عضوية فيما عدا كلوريد الصوديوم (NaCl) الذي يستخدم كبهار condiment أو مادة حافظة في الأغذية .

(١٠,٢) الحديد Iron (Fe)

(١٠,٢,١) المقدمة Introduction

يعد الحديد من أكثر العناصر المعدنية الصغرى التي تحظى بالاهتمام الكبير نظرًا

لأنه يؤدي وظائف مهمة جدًا في جسم الإنسان، بالإضافة إلى أنه من أكثر العناصر الغذائية التي يعاني من نقصها الملايين من الناس. ويقدر متوسط ما يحتويه جسم الشخص البالغ من الحديد بحوالي ٤ جرامات (٠٠٤, ٪ من وزن الجسم)، يوجد منها حوالي ٧٠٪ في هيموجلوبين hemoglobin كرات الدم الحمراء (المادة التي تصبغ الكريات الحمراء باللون الأحمر) في صورة حديد هيمي heme iron و ٥٪ في ميوجلوبين myoglobin العضلات في صورة حديد هيمي و ٢٠٪ في مخازن الحديد في الكبد والطحال spleen ونخاع العظام bone marrow في صورة فريتين ferritin وهيموسيدرين hemosiderin (تحتوي على حديد غير هيمي) و ٥٪ في الخلايا والإنزيمات المحتوية على الحديد. ولقد وجد أن جميع الحديد الذي لا يتجه إلى كرات الدم الحمراء (RBC's) والعضلات لتصنيع الهيموجلوبين والميوجلوبين يخزن في صورة فريتين أو هيموسيدرين، ويخزن الأخير فقط في الكبد. ويتوقف محتوى الجسم من الحديد على عدة عوامل أهمها: الجنس والعمر والحالة الصحية والغذائية وكمية الحديد في مخازن الجسم iron reserve، ولقد وجد أن مخزون الحديد في الرجل السليم حوالي ١٠٠٠ مجم، بينما تقل هذه الكمية إلى ٢٠٠ ـ ٤٠٠ مجم في المرأة أثناء فترة الحيض (الطمث). كما أن تركيز الحديد في جسم الطفل المولود حديثًا يكون أعلى من تركيزه في جسم الشخص البالغ، حيث يبلغ ٣٥ـ٥٠ مجم لكل كيلوجرام من وزن الجسم في الشخص البالغ و ٧٠ مجم لكل كيلوجرام من وزن الجسم في الرضيع. ينقل الحديد في الدم مرتبطًا مع بيتاجلوبيولين betaglobulin في صورة تسمى الترانسفرين transferrin، والتي تحتوي على حديد غير هيمي nonheme iron. ويتراوح تركيز الحديد في البلازما ما بين ٨٠ـ١٦٥ ميكروجراما لكل ١٠٠ ملل للرجال وما بين ٦٥ـ١٣٠ ميكروجراما لكل ١٠٠ ملل للنساء.

وبالرغم من أن كمية الحديد في جسم الإنسان محدودة، إلا أنها تقوم بوظائف حيوية مهمة، كما أن الحديد الموجود في هيموجلوبين كرات الدم الحمراء والعضلات وخلايا الجسم والإنزيمات يكون في صورة متحركة وفعالة، بينما يكون الحديد الموجود في مخازن الجسم (الكبد والطحال ونخاع العظام) في صورة ساكنة غير متحركة يستفيد منها الجسم عند الحاجة فقط.

(١٠ , ٢ , ٢) وظائف الحديد Functions of iron

يمكن تلخيص الوظائف الفسيولوجية للحديد في جسم الإنسان كالتالي :

١ ـ يدخل الحديد في تركيب الهيموجلوبين الذي يعتبر المكون الأساسي في خلايا الدم الحمراء، حيث إنه يعمل على نقل الأكسجين من الرئتين إلى جميع أنسجة الجسم لكي تتم عملية أكسدة العناصر الغذائية المولدة للطاقة، كما أنه يعمل على نقل ١٥٪ من ثاني أكسيد الكربون الناتج من عمليات الأيض (أكسدة العناصر) إلى الرئتين ليخرج مع هواء الزفير، أما الجزء الباقي من ثاني أكسيد الكربون فإنه ينتقل في صورة أيونات بيكربونات. ويتألف الهيموجلوبين من الهيم heme المحتوى على الحديد وحلقات بورفيرين porphyrin مرتبطة مع الجلوبين.

٢ ـ يدخل الحديد في تركيب هيموجلوبين العضلات والذي يعمل كمستودع للأكسجين oxygen reservoir نظرًا لأن له القدرة على تخزين الأكسجين لاستعماله في انقباض العضلات.

٣ ـ يدخل في تكوين الإنزيمات المؤكسدة oxidative enzymes الموجودة في العضلات واللازمة لإنتاج الطاقة من الجلوكوز والأحماض الدهنية، ومنها الكتاليز catalases والبيروكسيديز peroxidases والسيتوكروم cytochromes وأكسيديز الزانثين xanthin oxidase وديهيدروجينيز السكسنيك succinic dehydrogenase . كما يعمل الحديد كعامل مساعد cofactor لإنزيمات أخرى.

٤ ـ يخزن حوالي ٢٠٪ من الحديد في الكبد والطحال ونخاع العظام في صورة فريتين ferritin وهيموسيدرين hemosiderin لاستعماله في بناء الهيموجلوبين عند الحاجة. وتجدر الإشارة إلى أن الحديد الذي يخزن في الكبد والطحال، ونخاع العظام هو الحديد الزائد على احتياجات الجسم، والذي لم تستعمله كرات الدم الحمراء أو العضلات، كما أن الحديد المخزن في الكبد يوجد فقط في صورة هيموسيدرين hemosiderin .

٥ ـ يساعد الحديد على تصنيع المواد التي تنقل النبضات (الإشارات العصبية) من خلية عصبية إلى الأخرى neurotransmitters ، وفي تصنيع الكولاجين، وكذلك

البيورينات purines التي تدخل في تركيب الأحماض النووية، كما أنه يدخل في إنتاج الأجسام المضادة antibodies ، ويساعد في التخلص من مفعول الأدوية السامة في الكبد ومن الدهون الزائدة في الدم. ويتميز حليب الأم باحتوائه على الحديد في صورة لاكتوفيرين lactoferrin الذي يعمل على إعاقة نمو بكتريا *E. coli* في القناة الهضمية للأطفال نظرًا لأنه يرتبط بالحديد ويجعله غير متوافر لنمو هذه البكتريا.

(١٠,٢,٣) مصادر الحديد الغذائية Dietary sources of iron

يوجد الحديد بنسب متفاوتة في مجموعة واسعة من الأغذية الحيوانية والنباتية، ويمكن تلخيص أهم المصادر الغنية به كالآتي:

١ ـ بدائل اللحوم Meat exchanges

تعد بدائل اللحوم من أفضل مصادر الحديد الذي يتميز بمعدل امتصاصه المرتفع (يصل إلى ٣٠٪)، وذلك لاحتوائها على ٤٠٪ حديد هيمي heme iron (الهيموجلوبين والميوجلوبين) و ٦٠٪ حديد غير هيمي nonheme iron . وتتمثل بدائل اللحوم الغنية بالحديد في الكبدة والكلاوي واللحوم الحمراء والدواجن والأسماك والبيض، وتعد كبدة الخروف lamb liver من أغنى المصادر الغذائية بالحديد، ٩,٦ ملليجرام حديد. كما تعد البقوليات مثل الفاصوليا والبازلاء مصادر ممتازة للحديد.

٢ ـ بدائل الخضروات والفواكه Vegetable and fruits exchanges

تعد الخضروات والفواكه مصادر جيدة للحديد غير الهيمي nonheme iron خصوصًا الخوخ prunes والمشمش apricot ، البازلاء peas والتين والزبيب raisins وجميع الخضروات الورقية الخضراء. إلا أن احتواء الخضروات والفواكه على السليلوز cellulose يقلل من معدل امتصاص الحديد في الجسم والذي يقدر بحوالي ٤٪.

٣ ـ بدائل الخبز Bread exchanges

تعتبر الحبوب الكاملة والمدعمة enriched مصادر جيدة للحديد غير الهيمي، إلا أن معدل امتصاصه يكون أقل من الحديد الهيمي في الجسم كما ذكر آنفًا، وتتراوح نسبة

امتصاص الجسم للحديد من الحبوب ومنتجاتها ما بين ٥ , ٠ ـ ٥ , ٦٪ . وتتمثل بدائل الخبز الغنية بالحديد في الخبز الكامل والمدعم والسيريل cereals والمكرونة والاسباكتي spaghetti . والجدول (١ , ١٠) يبين محتوى بعض الأغذية من عنصر الحديد .

جدول (١ , ١٠) محتوى بعض الأغذية من الحديد .

الأغذيـــــــة	مقدار وحدة التقديم الواحدة (حصة Serving)	كمية الحديد (ملليجرام)
بدائل اللحم meat exchange		
محـار oysters	ثلاثة أرباع كوب	١٠
رقاقات من لحم البقر مملحة ومدخنة	٣ أوقية (٩٠ جراما)	٤
لحم البقر ـ صاف	٣ أوقية (٩٠ جراما)	٢,٩
لحم العجل veal صاف	٣ أوقية	٣
ســـاردين	٣ أوقية	٢,٥
تونة معلبة	٣ أوقية	١,٦
لحم خروف ـ فخذ leg of lamb	٣ أوقية	١,٤
لحم الدجاج ـ صاف	٣ أوقية	١,٤
سالمون salmon عطب	٣ أوقية	٠,٧
كبدة البقر	٣ أوقية	٨
قلب البقـر	٣ أوقية	٥
لحم همبركر ـ متوسط الدهن	٣ أوقية	٢,٧
بيض	١ حبة (٥٠ جراما)	١,١
زبدة الفول السوداني	٢ ملعقة مائدة	٠,٦
لحم سمك ـ مطهو*	٣ أوقية (٩٠ جراما)	١,٠
بدائل الفاكهة fruite exchanges		
عصير برقوق prune juice	ربع كوب	٢,٦
فراولـــة	ثلاثة أرباع كوب	١,١
مشمش جـــاف	٤ أنصاف 4 halves	٠,٨

تابع جدول (١٠,١).

الأغذية	مقدار وحدة التقديم الواحدة (حصة Serving)	كمية الحديد (ملليجرام)
ثمر العليق blackberries	نصف كوب	٠,٧
blueberries	نصف كوب	٠,٧
توت raspherries	نصف كوب	٠,٦
تين جاف	١ حبة	٠,٦
كمثري pear	١ حبة	٠,٥
تفاح أو برتقال *	١ حبة متوسطة	٠,٤
بدائل الخضروات vegetables exchanges		
سبانخ spinach	نصف كوب	٢,٤
dandelion greens	نصف كوب	١,٦
عصير طماطم	نصف كوب	١,١
brussels sprouts	نصف كوب	٠,٩
بروكولي broccoli	نصف كوب	٠,٧
طماطم مطهوة	نصف كوب	٠,٦
الخضروات الخضراء المطهوة (جميع الأنواع)	نصف كوب (٧٥ جراما)	١,٥
بدائل الخبز bread exchanges		
بوب كورن - بدون دهن	٣ أكواب	٠,٦
شرائح النخالة المدعمة	نصف كوب	٦,٢
فاصوليا جافة	نصف كوب	٢,٥
فاصوليا - ليما	نصف كوب	٢,٢
فاصوليا ليما جافة - مطهوة*	نصف كوب (٧٥ جراما)	١,٨
فاصوليا خضراء مطهوة*	نصف كوب	٠,٤
بازلاء خضراء	نصف كوب	١,٥
الأرز - مدعم	نصف كوب	٠,٩
سيريل cereals جاهز للأكل*	١ كوب (٣٠ جراما)	١,٣
خبز أسمر	١ شريحة (٢٥ جراما)	٠,٨

تابع جدول (١٠,١).

الأغذيـــــــة	مقدار وحدة التقديم الواحدة (حصة Serving)	كمية الحديد (ملليجرام)
pumpkin	ثلاثة أرباع كوب	٠,٧
خبز أبيـض	١ شريحة (٢٥ جراما)	٠,٦
سبكتة أو مكرونة ـ مدعمة	نصف كـوب	٠,٧
بطاطـس	١ حبـة صغيرة	٠,٥
بطاطس مقلية french fried	٨ حبات	٠,٦
بدائل الحليب milk exchanges		
الحليـب*	١ كوب (٢٤٤ جراما)	٠,٢

المصدر: Hamilton E.N. Whitney, E.N. (1981), p. 463. الأغذية المؤشر عليها بعلامة * مأخوذة من مصادر أخرى.

(١٠,٢,٤) نقص الحديد Deficiency of iron

تظهر عادة أعراض نقص الحديد على الإنسان نتيجة:

(١) تناول وجبات غذائية فقيرة في محتواها من الحديد لفترة زمنية طويلة، (٢) ضعف في امتصاص الحديد من الأمعاء، (٣) الإصابة بالنزيف بسبب حدوث جرح أو قطع أو نتيجة الطمث بالنسبة للنساء. وهذه الأسباب الثلاثة تسبب استنزافا للحديد المخزن في الجسم، مما يترتب عليه انخفاض مستوى الحديد في مصل الدم blood serum وانخفاض في نسبة تشبع الترانسفرين transferrin بالحديد، ويؤدي النقص الشديد في الحديد في النهاية إلى الإصابة بأنيميا نقص الحديد iron deficiency anemia.

وتتمثل أعراض أنيميا نقص الحديد لدى الإنسان في التالي:

١ ـ انخفاض مستوى الهيموجلوبين في الدم

يقدر متوسط مستوى الهيموجلوبين في دم المرأة والرجل السليمين بحوالي ١٣,٥ و ١٥ جراما لكل ١٠٠ ملل على التوالي، ولكن يؤدي انخفاض مستواه إلى حوالي ٥ـ٩ جرامات لكل ١٠٠ ملل دم إلى ظهور أعراض أنيميا نقص الحديد (مرض فقر الدم)

وبشكل عام انخفاض مستوى الهيموجلوبين لأقل من ١٣ جراما في الرجل و ١٢ جراما في المرأة الطبيعية و ١١ جراما لكل ١٠٠ ملل دم في المرأة الحامل ويعتبر مؤشرًا على احتمال الإصابة بالأنيميا. ويرجع انخفاض مستوى الهيموجلوبين في الدم إلى استنزاف جميع مخزون الجسم من الحديد (مستودعات الحديد)، ويؤدي هذا إلى عدم قدرة الجسم على تأمين احتياجات كرات الدم الحمراء من الحديد.

٢ ـ انخفاض في عدد كرات الدم الحمراء

يقدر عدد كرات الدم الحمراء في الرجل السليم بحوالي ٥ ملايين خلية في المللليتر وفي المرأة السليمة بحوالي ٤,٥ مليون خلية في المللليتر، لكن عند الإصابة بأنيميا نقص الحديد يقل عدد كرات الدم الحمراء في المرأة والرجل إلى ٣ـ٤ مليون خلية في المللليتر الواحد.

٣ ـ صغر في حجم كرات الدم الحمراء

تصبح كرات الدم الحمراء صغيرة في الحجم microcytic ، ولونها أحمر باهت hypochromic ، ولذلك يطلق على أنيميا نقص الحديد hypochromic microcytic anemia ، كما أن صغر حجم خلايا الدم الحمراء يضعف من قدرتها على حمل الأكسجين من الرئتين إلى الخلايا، مما يؤدي إلى انخفاض في عمليات أكسدة العناصر الغذائية وإنتاج الطاقة.

٤ ـ ظهور أعراض أخرى على الشخص Appearance of other symptoms

يشعر الشخص المصاب بالأنيميا بالإجهاد fatigue والصداع headaches وشحوب في اللون وضعف عام واصفرار في الوجه وضيق في التنفس خصوصًا بعد أداء أي مجهود، ومعظم هذه الأعراض تكون نتيجة لعدم توافر كميات كافية من الأكسجين لاستخدامها في عمليات أيض الطاقة. كما يؤدي نقص الحديد في الأطفال إلى حدوث اضطرابات سيكولوجية psychological disturbances مثل فرط النشاط hyperactivity وقلة اليقظة والانتباه attentiveness .

٥ ـ تغير معامل اللون Colour Index عن واحد

معامل اللون هو نسبة الهيموجلوبين معبرًا عنها كنسبة مئوية لكرات الدم الحمراء، وفي الظروف الطبيعية تكون قيمة معامل اللون واحدًا صحيحًا. إلا أن انخفاض قيمة معامل اللون عن واحد يدل على نقص في مستوى الهيموجلوبين مع وجود عدد كاف من كرات الدم الحمراء، بينما يدل ارتفاع قيمة معامل اللون عن واحد على نقص في عدد كرات الدم الحمراء مع عدم تغير في مستوى الهيموجلوبين عن الحالة الطبيعية. أما المؤشرات المعملية التي تدل على إصابة الشخص بأنيميا نقص الحديد فيمكن تلخيصها في الآتي:

- حديد مصل الدم Serum iron : أقل من ٥٠ ميكروجراما لكل ١٠٠ ملل.
- سعة الارتباط بالحديد Iron-binding capacity : أكثر من ٤٠٠ ملليجرام لكل ١٠٠ ملل.
- تشبع الترانسفرين Transferrin saturation : أقل من ١٥٪.
- فريتين السيرم Serum ferritin : أقل من ١٠ ميكروجرامات لكل ١٠٠ ملل.
- Hemoglobin/hematocrit Hematocrit : تعني نسبة كرات الدم الحمراء في عينة من الدم الكامل whole blood .

وتتفشى أنيميا نقص الحديد في كثير من دول العالم النامية، فقد وجد في بعض الشعوب أن أكثر من ٥٠٪ من سكانها مصابون بالأنيميا. وبشكل عام تكثر الإصابة بأنيميا نقص الحديد في الأطفال الرضع infants والمراهقين adolescents (ذكور وإناث) والنساء الحوامل. وتجدر الإشارة إلى أن الأطفال الرضع يولدون ومخازن الحديد في أجسامهم غنية جدًا بالحديد ١٨ـ١٩ الذي يكفي لسد حاجة أجسامهم لفترة ٤ـ٦ شهور بعد الولادة. لهذا تحدث معظم الإصابة بالأنيميا بعد عمر ٤ـ٦ شهور خصوصًا الرضع الذين يعتمدون كليا في غذائهم على الحليب الخالي من الحديد. ويتراوح تركيز الهيموجلوبين في دم الأطفال حديثي الولادة (بعد الولادة مباشرة) ما بين ١٨ـ١٩ مجم لكل ١٠٠ ملل من الدم. يتضح مما سبق ذكره أنه يجب إعطاء الرضيع الأغذية الغنية بالحديد مثل البيض بعد عمر ٤ـ٦ شهور، كما يجب زيادة جرعات الحديد التي تستهلكها الأم أثناء فترة الحمل لأنها تزيد من مخزون الحديد في جسم الرضع بعد

الولادة. ولقد وجد أن الأطفال الذين يولدون من أمهات لديهم نقص في الحديد معرضون للإصابة بأنيميا نقص الحديد. كما تكثر الإصابة بأنيميا نقص الحديد في سن المراهقة بسبب النمو السريع الذي يحدث في هذه الفترة وما يصاحبه من زيادة في حجم الدم. وزيادة فقدان الحديد مع دم الطمث أو الحيض menses . وتجدر الإشارة إلى أن الوجبة الغذائية التي يتناولها الشخص في فترة النمو السريع (سن المراهقة) لا تحتوي على كميات من الحديد تكفي لسد احتياجات الجسم الزائدة خلال هذه الفترة.

وتكون الأم أثناء فترة الحمل معرضة للإصابة بأنيميا نقص الحديد وذلك نتيجة للزيادة التي حدثت في حجم دم الأم، وتكون أنسجة جديدة في جسمها مثل المشيمة وزيادة أنسجة الثدي، وكذلك تكون الجنين الذي يحصل على جميع احتياجاته من الحديد من جسم الأم، لهذا يوصي معظم الأطباء المرأة الحامل بأخذ جرعات إضافية من الحديد لمنع إصابتها بالأنيميا. كما أن تتابع مرات الحمل دون إعطاء الأم مهلة من الوقت لإعادة بناء مخزون الحديد لديها يؤدي إلى إصابتها بالأنيميا خصوصًا عندما تكون الأم صغيرة السن ولم يكتمل نموها.

معالجة أنيميا نقص الحديد

توجد طريقتان لمعالجة أنيميا نقص الحديد هما:

١ ـ **تخطيط وجبة غذائية غنية بالحديد:** يمكن معالجة الأنيميا بواسطة تخطيط وجبات غذائية غنية بالحديد مثل الكبدة والبطاطس واللحوم (اللحوم الحمراء والدواجن والسمك)، كما يؤخذ في الاعتبار ضرورة احتواء الوجبة الغذائية على حمض الأسكوربيك نظرًا لأنه يزيد من معدل امتصاص الحديد كما سبق ذكره. كذلك يجب الأخذ في الاعتبار عدم زيادة كميات الحليب المتناولة يوميًا على المقرر الطبيعي، نظرًا لأن الكالسيوم يتحد مع الحديد ويكون معقدًا غير قابل للامتصاص من خلال جدار الأمعاء. أما بالنسبة للأطفال الرضع الذين يتغذون على الحليب الصناعي فإنه يجب إعطاؤهم الحليب المدعم بالحديد iron-fortified formula ، وكذلك السيريل cereals

المدعم بالحديد، بالإضافة إلى العصائر الغنية بفيتامين جـ vitamin C (عصائر الحمضيات).

٢ ـ أملاح الحديد **Iron salts** : تعتبر أملاح الحديد العلاج الرئيسي للشخص المصاب بالأنيميا وتعطى عن طريق الفم في صورة كبريتات الحديد ferrous sulphate أو جلوكونات الحديد ferrous gluconate أو فيومارات الحديد ferrous fumarate ، وينصح بتناولها بعد الوجبة الغذائية مباشرة لتفادي حدوث مضايقات intolerance ، علمًا بأن معدل امتصاصها يكون أكبر عندما تؤخذ بين الوجبات الغذائية.

(١٠, ٢, ٥) احتياجات الحديد اليومية Daily requirements of iron

تختلف احتياجات الفرد للحديد حسب السن والجنس والحالة الصحية، إلا أنه يجب أن تؤمن الكميات المتناولة منه احتياجات الجسم المتزايدة خصوصًا أثناء فترة الحمل والرضاعة والنمو السريع، كما يجب التعويض عن كمية الحديد المفقودة مع الدم أثناء فترة الطمث أو نتيجة العمليات الجراحية. ولقد حددت هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي NFB/NRC (١٩٨٩م) المقررات اليومية الموصى بها RDA للحديد، وهي ٦ـ١٠ مجم للرضع infants والأطفال childrens و ١٢ مجم للمراهقين و ١٥ مجم للمراهقات والبالغات والمرضعات و ١٠ مجم للبالغين والمسنين والمسنات. كما توصي هيئة الغذاء والتغذية (١٩٨٩م) بإعطاء المرأة الحامل جرعات إضافية من الحديد (١٥ مجم في اليوم) خلال هذه الفترة لتأمين احتياجات المرأة الإضافية نتيجة تكون المشيمة والجنين، وزيادة حجم الجسم، وتصنيع الحليب. كما أن منظمتي الأغذية والزراعة والصحة العالمية FAO/WHO أوصتا بتناول ٥ـ١٠ مجم حديد في اليوم للأطفال حتى عمر ١٢ سنة و ١٣ـ١٩ مجم للمراهقين و ١٢ـ٢٨ مجم للمراهقات والنساء البالغين و ٥ـ٩ مجم للرجال البالغين. كما يمكن تقدير احتياجات الحديد على أساس تناول ٦ مجم لكل ١٠٠٠ سعر، ويعني هذا أن المرأة المراهقة أو البالغة يجب أن تتناول وجبة غذائية تحتوي على ٢٥٠٠ سعر لكي تحصل على ١٥ مجم حديد في اليوم، وتزيد هذه الكمية من السعرات على احتياجات المرأة خلال هذه المرحلة من العمر.

يولد معظم الأطفال ومخازن الحديد في أجسامهم غنية جدًا بالحديد (٣٥٠-٤٠٠ مجم) الذي يكفيهم حتى عمر ٤-٦ شهور، لهذا لا يحتاج الطفل إلى مصادر جديدة للحديد حتى الشهر الرابع أو الخامس من عمره. وبعد ذلك ينصح بإعطاء الطفل أغذية غنية بالحديد مثل البيض، مع إعطائه حمض الأسكوربيك لزيادة معدل امتصاصه.

(١٠, ٢, ٦) امتصاص الحديد ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of iron

يتم امتصاص الحديد في الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة، وبنسبة تتراوح ما بين ٥-١٠٪ من الحديد الموجود في الغذاء، وهي من أدنى نسب امتصاص العناصر الغذائية. ويُمتص الحديد إما في صورة حديد غير هيمي nonheme من الأملاح غير العضوية في الغذاء أو في صورة حديد هيمي heme iron مرتبط بالمركبات العضوية، وفي الصورة الأخيرة تنفتح حلقة البورفيرين porphyrin ring في داخل خلايا الأمعاء الدقيقة ويخرج منها الحديد إلى الدم مباشرة. يوجد معظم الحديد في الغذاء في صورة مؤكسدة Fe^{3+} (حديديك) ويوجد جزء قليل في صورة مختزلة Fe^{2+} (حديدوز)، إلا أنه يتم اختزال الحديديك إلى حديدوز في المعدة بمساعدة حمض الهيدروكلوريك ليسهل امتصاصه من خلال جدار الأمعاء الدقيقة، حيث تزيد قدرة الجسم على امتصاص الصورة المختزلة. توجد عدة عوامل تنظم امتصاص الحديد من خلال جدار الأمعاء الدقيقة، وهذه يمكن تلخيصها في الآتي:

١ - احتياجات الجسم للحديد Body's needs for iron

تتحدد نسبة الحديد الممتصة من الغذاء بمدى احتياجات الجسم له، فمثلاً يقدر متوسط امتصاص الحديد في الحالة الطبيعية بحوالي ١٠٪، بينما ترتفع هذه النسبة إلى ٣٠٪ أثناء فترة الحمل، وإلى ٤٥-٦٤٪ عند الإصابة بالأنيميا وانخفاض مستوى الهيموجلوبين في الدم، كما تزداد نسبة الامتصاص لدى الأطفال. ولقد وجد أن هناك علاقة بين نسبة امتصاص الحديد وكمية بروتين الفيريتين ferritin المبطن لجدار الأمعاء الدقيقة، حيث تنخفض كمية الفيريتين في الأغشية المخاطية المبطنة لجدار الأمعاء

الدقيقة خلال فترة الحمل والنمو السريع، مما يزيد من نسبة امتصاص الحديد، بينما تزداد كمية الفيريتين في الأغشية المخاطية خلال الفترات الطبيعية، مما يقلل من نسبة امتصاص الحديد.

٢ ـ كمية ونوعية الحديد في الوجبة الغذائية Quantity & kind of iron in diet

ترتفع نسبة امتصاص الحديد من الأمعاء كلما قلت كميته في الوجبة الغذائية، ولقد وجد أن نسبة الامتصاص قد تصل إلى ٣٢٪ عند تناول كمية حديد بتركيز ٢٥ , ٠ مجم لكل كيلوجرام من وزن الجسم وتنخفض هذه النسبة إلى ٤٪ عند زيادة كمية الحديد المستهلكة إلى ٤ مجم لكل كيلوجرام من وزن الجسم. كما يبلغ متوسط نسبة امتصاص الحديد الهيمي heme iron (هيموجلوبين وميوجلوبين) في الأغذية الحيوانية مثل اللحوم والأسماك والدواجن إلى حوالي ٢٣٪، بينما تتراوح نسبة امتصاص الحديد غير الهيمي nonheme iron في الأغذية النباتية مثل البقوليات والقمح والخضروات والأغذية النباتية الأخرى ما بين ٣ إلى ٨٪. كما أن الجسم له القدرة على امتصاص الحديد في الصورة المختزلة (حديدوز) بمعدل أكثر من الصورة المؤكسدة (حديديك)، لهذا يتحول معظم الحديديك في الغذاء إلى حديدوز بفعل حمض الهيدروكلوريك في المعدة والجزء العلوي من الاثنى عشر.

٣ ـ احتواء الوجبة الغذائية على حمض الأسكوربيك واللحم Presence of ascorbic acid and meat in diet

إن احتواء الوجبة الغذائية على حمض الأسكوربيك واللحوم المختلفة (اللحوم الحمراء أو الأسماك أو الدواجن) يرفع من معدل امتصاص الحديد غير الهيمي إلى حوالي ثلاثة أضعاف. كما يعمل حمض الأسكوربيك على اختزال الحديديك إلى حديدوز، ويرفع هذا من نسبة امتصاصة في الأمعاء.

٤ ـ استنزاف مخازن الحديد في الجسم Depletion of iron stores in body

يترتب على نفاد الحديد في مخازن الجسم مثل الكبد والطحال ونخاع العظام، وانخفاض نسبة تشبع الترانسفرين transferrin ارتفاع نسبة امتصاص الحديد، والعكس.

٥ ـ احتواء الوجبة الغذائية على حمض الفيتيك أو الأكساليك أو الفوسفات أو كمية كبيرة من الألياف Presence of phytate, oxalate, phosphate or high fiber in diet

وجد أن احتواء الغذاء على حمض الأكساليك أو الفيتيك أو الفوسفات يعوق امتصاص الحديد من الأمعاء، حيث إنها تشكل معه أملاح حديد (معقدات) غير قابلة للذوبان في الماء، فتسبب انخفاضا في معدل امتصاص الحديد. وتجدر الإشارة إلى أن الكالسيوم له القدرة على الاتحاد بحمض الفيتيك والفوسفات ومنعهما من الارتباط بالحديد وإعاقة امتصاصه. كما أن احتواء الوجبة الغذائية على كمية كبيرة من الألياف يعوق امتصاص الحديد، نظرًا لأنه يعمل على الإسراع في خروج الغذاء من الأمعاء، فيقلل من معدل امتصاصه. ويتضح مما ذكر آنفًا أن أعراض أنيميا نقص الحديد قد تظهر على الأشخاص الذين يعتمدون كليًا في غذائهم على الحبوب grain والسيريل cereals لأنها غنية بحمض الفيتيك والأكساليك والألياف. كما أن التانين tannins الموجود في الشاي ومضادات الأحماض antiacids يعوق امتصاص الحديد.

٦ ـ الأمراض Diseases

يحدث انخفاض في نسبة امتصاص الحديد عند الإصابة ببعض الأمراض، أي أن بعض الأمراض تسبب حدوث مشاكل في عملية امتصاص الحديد، ومنها مرض السلياك celiac sprue والقولنج (التهاب غشاء القولون المخاطي) colitis ومرض تليف الكبد والإسهال والأمراض المعدية. كما أن استئصال المعدة gastrectomy أو جزء منها يترتب عليه انخفاض في كمية حمض الهيدروكلوريك الضروري لتحويل الحديديك إلى حديدوز، مما يقلل من معدل امتصاصه. ولقد وجد أن الحديد الممتص (الحديدوز) يتحول في داخل خلايا الأمعاء إلى حديديك، ثم يتحد مع بروتين أبو فيرين appofer-rin لتكوين الفيريتين ferritin، وهي الصورة التي يُخزن عليها الحديد في الأمعاء الدقيقة حيث يقوم بإمداد بروتين الترانسفيرين بالحديد عند الحاجة. ويُخزن الحديد على صورة فيرتين عندما يكون تركيز الحديد في الترانسفيرين حوالي ٣٣٪، وعندما ينخفض عن ذلك يقوم الترانسفيرين بسحب الحديد من الفيريتين المخزن في الأمعاء. ينقل الترانسفيرين (حديد + جلوبيولين globulin) الحديد في الدم في صورة (حديدون) إلى أنسجة الجسم المختلفة حسب احتياجها، ويخزن الباقي في الكبد والطحال ونخاع

العظام في صورة فيريتين وهيموسيدرين. ولكن يذهب الجزء الأكبر من الحديد إلى نخاع العظام لتصنيع الهيموجلوبين اللازم لتكوين كرات دم حمراء تحل محل كرات الدم الحمراء المتحللة، حيث يلزم ٢٠ مجم حديد لتصنيع ٥-٦جم هيموجلوبين. وتجدر الإشارة إلى أن كرات الدم الحمراء تعيش فقط لفترة ٤ شهور وبعد ذلك تتحلل وينطلق منها الحديد الذي يعاد استخدام ٩٠٪ منه في تصنيع الهيموجلوبين الذي يستخدم لتكوين كرات دموية حمراء جديدة تحل محل الكرات المتحللة. يتضح مما ذكر أعلاه أنه يوجد ثلاثة مصادر رئيسية للحديد في الدم وهي: الحديد الممتص من الأمعاء والحديد المنطلق من مخازن الحديد في الجسم والحديد الناتج من تحلل كرات الدم الحمراء. ويقدر الحديد الموجود في كرات الدم الحمراء بحوالي ٧٥٪ من الحديد الكلي الموجود في الجسم، لهذا يحدث أكبر فقدان للحديد من الجسم عند فقدان الدم أو حدوث نزيف. يوجد حوالي ٣٠-٤٠٪ من الحديد الكلي في الجسم في مخازن الحديد، ويوجد الباقي في صورة فعالة في الجسم، وأهمها الحديد الموجود في إنزيمات السيتوكروم أكسيديز cytochrom oxidase الضروري لعمليات الأكسدة وتكوين الطاقة في كل خلية. وبشكل عام يفقد جسم الإنسان جزءًا قليلاً جدًا من الحديد وذلك نتيجة تحلل كرات الدم الحمراء في الكبد ونخاع العظام، حيث إن ٩٠٪ من الحديد الناتج من هذا التحلل يعاد استخدامه في الجسم، بينما يفقد الباقي مع البول والعرق وفي تجويف الأمعاء. وتقدر كمية الحديد التي تفقد يوميًا مع العرق بحوالي ١,٠ مجم ومع دم الطمث بحوالي ٣,٠-١ مجم، ومع البول بحوالي ١,٠ مجم. كما يفقد حوالي ٣,٠ - ٥,٠ مجم حديد في تجويف الأمعاء. أما الحديد الذي يخرج مع البراز (٥,٠-١,٠ مجم) فإنه يمثل الحديد غير الممتص في الأمعاء.

والجدير بالذكر أنه يمكن أن تحدث زيادة في مستوى الحديد في الجسم، مما يؤدي إلى زيادة كمية الهيموسيدرين hemosiderin المخزنة في الكبد والفيريتين ferritin المخزنة في الطحال ونخاع العظام. ومن الأسباب الرئيسية التي تؤدي إلى ارتفاع مستوى الحديد في الجسم الآتي:

١ - الإصابة بمرض الهيموسيدروسيس Hemosiderosis

وهو عبارة عن اضطرابات في أيض الحديد يترتب عليها زيادة تخزينه في الكبد بصفة أساسية في صورة هيموسيدرين غير القابل للذوبان، بالإضافة إلى تخزينه في

الطحال ونخاع العظام والبنكرياس pancreas . ولا يؤدي هذا المرض إلى حدوث ضرر أو أذى لأنسجة الأعضاء المخزن بها . ويحدث الهيموسيدروسيس hemosiderosis نتيجة التحلل المفرط في كرات الدم الحمراء، والذي يشبه التحلل الذي يحدث لكرات الدم الحمراء في حالة الأنيميا hemolytic anemia أو نتيجة تناول كميات كبيرة من الحديد لفترة طويلة (٢٠٠ مجم في اليوم أو أكثر) كما هو الحال في أفراد قبائل البانتو Bantu في جنوب إفريقيا الذين يطهون طعامهم في أوعية حديدية iron pots فترتفع نسبة الحديد في غذائهم .

٢ ـ الإصابة بمرض الهيموكروماتوسيس Hemochromatosis

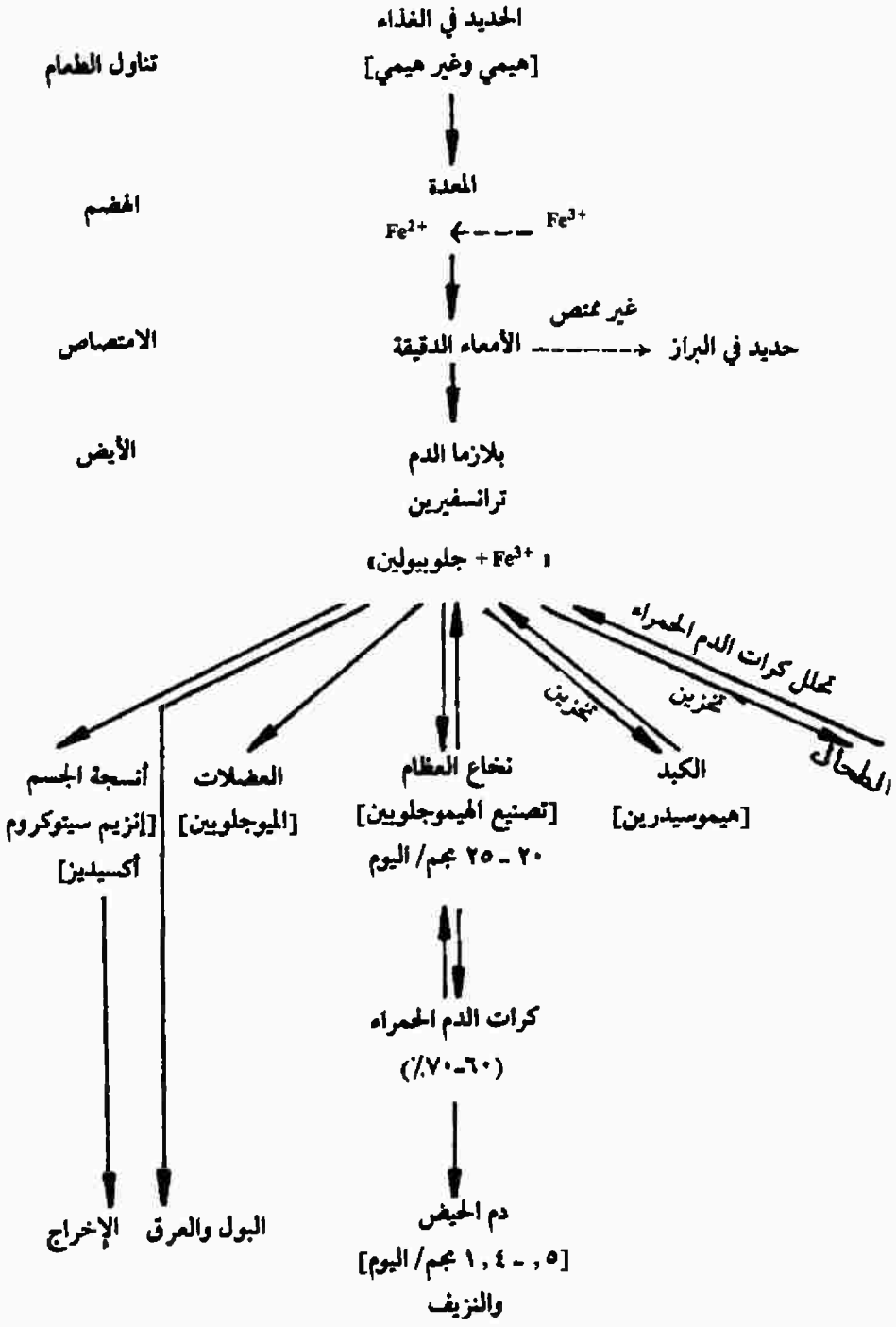
وهو مرض وراثي يسبب اضطرابات في أيض الحديد، مما يؤدي إلى حدوث زيادة في امتصاص وتخزين كميات كبيرة منه في الكبد وأنسجة الجسم الأخرى. ولقد وجد أن تخزين كميات كبيرة من الحديد في الكبد يؤدي إلى الإصابة بتليف الكبد cirrhosis of liver أو مرض السكري diabetes . وينتشر مرض الهيموكروماتوسيس بين الرجال أكثر من النساء، ويمكن معالجته بإعطاء المواد المستحلبة مثل أدوية desferrioxamine .

ويوضح الشكل (١٠,١) مسارات امتصاص ونقل وتخزين الحديد في جسم الإنسان .

(١٠,٣) النحاس Copper (Cu)

(١٠,٣,١) المقدمة Introduction

اكتشف وجود النحاس في الدم عام ١٨٧٥م، ولم تعرف أهميته في التغذية إلا في عام ١٩٢٥م عندما لاحظا العلماء في جامعة وسكونسن Wisconsin أن تغذية الفئران على الحليب يؤدي إلى إصابتها بالأنيميا التي لم يمكن معالجتها بإضافة الحديد إلى الحليب، ولكن أمكن معالجتها بإضافة كميات ضئيلة جدًا من رماد النحاس للوجبة. وتتشابه مسارات أيض النحاس والحديد، بالإضافة إلى تشابهما في وظائفهما وبعض خواصهما. ويحتوي جسم الإنسان البالغ على حوالي ١٠٠ـ١٥٠ مجم نحاس، حيث



شكل (١٠,١) مسارات امتصاص الحديد ونقله وتخزينه الحديد في جسم الإنسان.

يوجد حوالي ٣٥٪ منه في الكبد والمخ brain ، ويوجد الباقي موزعًا في القلب والكليتين والبنكرياس والطحال والرئة lung والعظام والعضلات. ويتراوح تركيز النحاس في بلازما الدم ما بين ٩٠-١٥٠ ميكروجراما لكل ١٠٠ ملل، حيث إن ٨٥-٩٥٪ منه يكون مرتبطًا مع الجلوبيولين مكونًا مركبا يسمى سريولوبلازمين ceruloplasmin ويرتبط الباقي مع الألبيومين. كما يرتبط النحاس الموجود في كرات الدم الحمراء مع بروتين إرثروكبرين erythrocuprein . وتجدر الإشارة إلى أن تركيز النحاس في أعضاء الجنين fetus والطفل حديث الولادة تزيد عدة مرات على ما في أعضاء الشخص البالغ، إلا أن هذا التركيز ينخفض إلى المستوى الطبيعي خلال السنة الأولى من الولادة.

(١٠,٣,٢) وظائف النحاس Functions of copper

تتمثل وظائف النحاس الفسيولوجية في جسم الإنسان في الآتي:

١ ـ يدخل النحاس في تركيب العديد من الإنزيمات التي تسمى سريولوبلازمين ceruloplasmin اللازمة لعمليات التأكسد والاختزال وغيرها من العمليات المهمة التي تحدث في الخلية، ويمكن تلخيص أهم الإنزيمات التي تحتوي على النحاس كعامل مساعد يمكنها من القيام بوظائفها كالتالي:

(ا) الفيروكسيديز Ferroxidase I : وهو يساعد على تأكسد الحديدوز(Fe^{2+}) إلى حديديك(Fe^{3+}) في بلازما الدم وقبل ارتباطه بالترانسفرين transferrin الذي ينقله عبر الدم إلى المواقع التي يحدث بها تكوين الهيموجلوبين hemoglobin في الجسم.

(ب) التيروسينيز Tyrosinase : يلعب دورًا مهمًا في تحويل الحمض الأميني تيروسين tyrosine إلى الميلانين melanin ، وهي عبارة عن صبغات سوداء موجودة في الجلد والشعر، لهذا يؤدي غياب هذا الإنزيم إلى الإصابة بالمهق albinism (تلون البشرة باللون البني والشعر باللون الأبيض).

(جـ) سيتوكروم س أكسيديز Cytochrome C oxidase : يساعد على نقل الإلكترونات في مسار سلسلة نقل الإلكترونات (الأكسدة الفوسفورية)، وبذلك يسهم في عملية إنتاج الطاقة (ATP) من الدهون والكربوهيدرات والبروتينات داخل الخلايا.

(د) اللاسيل أوكسيديز Lysyloxidase : يعمل على تصنيع بروتين الإيلاستين elastin الموجود في جدار الأورطي aorta ، وكذلك بروتين الكولاجين col-lagen الذي يربط الأنسجة والخلايا ببعضها البعض .

(هـ) سوبر أكسيد ديسميتيز Superoxide dismutase (SOD) : إنزيم يحتوي على النحاس ويساعد في حماية الخلايا من عملية التهدم الأكسيدي oxidative damage . وتجدر الإشارة إلى أن هذا الإنزيم يوجد في خلايا الدم الحمراء، ويسمى أحيانا hepatocuprein أو erythrocuprein أو cytocuprein أو cere-brocuprein .

(و) أكسيديز حمض الأسكوربيك Ascorbic acid oxidase : يلعب دورًا في عملية أكسدة فيتامين جـ، كما يدخل في تركيب إنزيمات الفينولاز phenolase .

(ز) إنزيمات أخرى: تعمل بعض إنزيمات السريولوبلازمين على تنظيم مستويات الأمينات amines في البلازما والخلايا مثل ابينفيرين epinephrine وسيروتونين serotonin ونون ابينفيرين nonepinephrine .

٢ - يسهم في تصنيع الكولاجين collagen والفوسفوليبيدات phospholipids الضرورية لتكوين الميالين myelin .

٣ - يساعد النحاس على تحرك الحديد من مخازنه في الكبد لتصنيع الهيموجلوبين، مما يحمي الإنسان من الإصابة بالأنيميا.

٤ - يلزم النحاس لتصنيع غلاف النخاعين myelin sheath المحيط بالألياف العصبية.

(١٠,٣,٣) مصادر النحاس الغذائية Dietary sources of copper

يتوافر النحاس في جميع الأغذية التي يتناولها الشخص يوميًا مثل اللحوم والخضروات والفواكه والحبوب، لهذا يحصل الإنسان عادة على أكثر من احتياجاته اليومية من النحاس. وأغنى الأغذية بالنحاس هي المحاريات oysters والصدفيات shellfish والكبدة والبقوليات والمكسرات والحبوب الكاملة والكاكاو. كما تعتبر اللحوم

والبيض والخضروات الورقية والأسماك مصادر متوسطة للنحاس. وتجدر الإشارة إلى أن حليب الأبقار من المصادر الفقيرة جدًا بالنحاس، بينما يحتوي حليب الأم على كميات متوسطة منه.

(١٠,٣,٤) نقص النحاس Deficiency of copper

من النادر ظهور أعراض نقص النحاس hypocupremia على الإنسان إلا في حالة وجود عيب وراثي في أيض الغذاء أو الإصابة بالأمراض التي يصاحبها إسهال حاد. وتتمثل أعراض نقص النحاس بظهور انخفاض في مستوى الهيموجلوبين والإصابة بالأنيميا وانخفاض في كرات الدم البيضاء leukopenia واضطرابات عصبية وقلة تكون الفوسفولبيدات phospholipids وصبغة الميلانين melanin pigment في الجلد وانحلال المعادن في العظام demineralization of bone وارتفاع مستوى الكوليسترول في الدم hypercholesterolemia .

ولقد ظهرت أعراض نقص النحاس على الأطفال الرضع في عمر ٧-٩ شهور خصوصًا الذين يعتمدون في غذائهم على الحليب فقط، وكذلك على الأشخاص المصابين بمرض السلياك والكلى والكواشيوراكور kwashiorkor وتليف الحوصلة المرارية cystic fibrosis والنيفروسس nephrosis . كما تصاب الحيوانات التي تعيش لفترة طويلة على غذاء فقير أو خال من النحاس بابيضاض الشعر في الفئران والخراف واضطراب في تناسق حركة العضلات في الغنم وتلف القلب والإصابة بمرض الخثي peat scours أو مرض السقوط falling disease في الأبقار التي تغذت على مراعي فقيرة بالنحاس.

(١٠,٣,٥) احتياجات النحاس اليومية Daily requirements of copper

لم تحدد هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي NFB/NRC (١٩٨٩) المقررات الغذائية الموصى بها RDA للنحاس، إلا أنها قدرت الاحتياجات اليومية التي تكفي لسد احتياجات الجسم من النحاس وهي ٠,٤ - ٠,٧ مجم للرضع و ٠,٧-٢ مجم للأطفال (١-١٠ سنوات) و ١,٥-٢,٥ مجم للمراهقين و ١,٥-٣ مجم

للبالغين. وبشكل عام يوصى بتناول ٠,٠٩ مجم نحاس لكل كيلوجرام من وزن الجسم.

(١٠,٣,٦) امتصاص النحاس ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of copper

يمتص النحاس من المعدة والجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة (الاثنى عشر)، وتقدر نسبة الامتصاص بحوالي ٣٠٪ من كمية النحاس الموجودة في الغذاء (١-٥ مجم). ولقد وجد أن امتصاص النحاس من خلال جدار الأمعاء يتم بمعدل سريع وبطريقة النقل النشيط للأحماض الأمينية active transport of amino acids التي ترتبط معه، أي أن البروتين الرابط للنحاس والذي يسمى ميتالوثيونين metallothionein يساعد على عملية امتصاص النحاس وانتقاله إلى الدم. ويظهر النحاس الممتص في الدم بعد ١٥ دقيقة من امتصاصه، ثم يتجه بعد ذلك عبر الدم إلى الكبد مرتبطًا مع الألبيومين albumin وأحماض أمينية أخرى، وفي داخل الكبد إما أن يفرز النحاس إلى الصفراء bile أو يخزن في صورة بروتين معقد محتو على ٢٪ نحاس أو يستخدم في تصنيع سيرولوبلازمين ceruloplasmin الذي يفرز مرة أخرى إلى الدم.

ولقد أشارت الدراسات إلى أن حوالي ٩٥٪ من النحاس في بلازما الدم يكون في صورة سيرولوبلازمين و ٥٪ يوجد في صورة مرتبطة مع الألبيومين والأحماض الأمينية. ويخرج النحاس من الجسم مع البراز، ويمثل هذا النحاس غير الممتص والنحاس المفقود من خلال جدار الأمعاء وإفرازات الصفراء bile ، كذلك فإن جزءًا بسيطًا من النحاس وهو يعادل ٤٪ من مجموع كمية النحاس الخارجة من الجسم يخرج مع البول. وتوجد بعض العناصر المعدنية التي تتعارض مع امتصاص النحاس مثل الزنك والموليبدنيوم molybdenum والكالسيوم والكادميوم cademium ، لهذا فإنه عند تناول الشخص كمية كبيرة من هذه العناصر يزداد احتياج الجسم للنحاس. كما أن حمض الأسكوربيك ascorbic acid والألياف fiber وحمض الفيتيك phytate تقلل من امتصاص النحاس، وتسبب انخفاض مستوى السيرولوبلازمين في البلازما. ولقد ثبت أن حدوث اضطراب أو خلل في أيض النحاس يؤدي إلى الإصابة بمرض ولسون Wilson's disease ، وهو مرض وراثي يتميز بانخفاض مستوى السيرولوبلازم في الدم

وارتفاع تركيز النحاس في أنسجة الجسم خصوصًا الكبد والمخ والكليتين وقرنية العين cornea ، مما يعوق هذه الأعضاء من أداء وظائفها الحيوية . وقد يكون السبب في هذا المرض حدوث ضعف في قدرة الصفراء على إفراز النحاس أو عدم القدرة على تصنيع السيرولوبلازمين.

وتجدر الإشارة إلى أن تراكم النحاس في أنسجة الجسم المختلفة يترتب عليه حدوث عجز أو قصور في أداء الكليتين renal malfunction والتهاب الكبد hepatitis وانحلال عدسة العين lenticular degeneration والاضطرابات العصبية neurological disorders . ويمكن طرد تركيزات النحاس العالية خارج الجسم باستعمال المواد الاستخلابية (الكماشة) chelating agents والمواد المستحلبة مثل البنسيلامن penicil-lamine والتي تعمل على إزالة النحاس الزائد على حاجة الجسم.

(١٠ , ٣ , ٧) تناول جرعات مفرطة من النحاس Excess doses of copper

يؤدي تناول جرعات كبيرة من النحاس (تعادل ١٠ مرات الكمية الموجودة في الوجبة العادية) إلى تراكم النحاس في أنسجة الجسم خصوصًا قرنية العين والكبد والمخ والكليتين، وكذلك ظهور أعراض التسمم مثل الغثيان والتقيؤ نتيجة حدوث اضطراب في عملية أيض النحاس. وتظهر عادة أعراض التسمم بالنحاس بسبب استعمال أوان نحاسية متأكسدة (غير مبيضنة) في عملية الطهو، بالإضافة إلى أن التسمم بالنحاس قد يحدث أحيانا لعمال المناجم.

(١٠ , ٤) الزنك Zinc (Zn)

(١٠ , ٤ , ١) المقدمة

يصنف الزنك في المرتبة الثانية بعد الحديد من حيث كميته داخل الجسم، إذ يحتوي جسم الإنسان البالغ على حوالي ٢ جم (أي ما يعادل نصف كمية الحديد في الجسم) موزعة على جميع أنسجة الجسم، وبتركيزات عالية في العينين وأعضاء التكاثر (البروستات prostate وإفرازاتها) والكبد والعظام والعضلات اللاإرادية والبنكرياس

وكرات الدم الحمراء والشعر والرئتين. وتقدر كمية الزنك في كرات الدم الحمراء بحوالي ١٢٥٠ ميكروجراما لكل ١٠٠ ملل وفي الدم ٩٠٠ ميكروجرام لكل ١٠٠ ملل وفي البلازما ١٢٠ ميكروجراما لكل ١٠٠ ملل، أي أن ٨٥٪ من الزنك في الدم يوجد في كرات الدم الحمراء و ٣٪ في كرات الدم البيضاء والباقي في البلازما. ويوجد الزنك في كرات الدم الحمراء في صورة متحدة مع إنزيم الكربونيك أنهيدريز carbonic anhyd-rase ، بينما يوجد متحدا مع إنزيم الفوسفاتيز القلوي alkaline phosphatase في كرات الدم البيضاء. وتجدر الإشارة إلى أن تركيز الزنك في كرات الدم البيضاء leukocytes أعلى عما في كرات الدم الحمراء، حيث إن كل خلية دموية بيضاء تحتوي على كمية من الزنك تعادل خمسًا وعشرين مرة الكمية الموجودة في الكرية الحمراء. ولقد بدأ الإنسان في الاهتمام بعنصر الزنك في تغذية الإنسان عندما لاحظ انخفاضًا سريعًا وملحوظًا في نمو وشهية الفئران التي تغذت على طعام فقير في الزنك، ثم عرف الإنسان في مطلع الستينيات الدور الحيوي الذي يقوم به الزنك في معالجة قصر القامة وتأخر البلوغ الجنسي.

(٢, ٤, ١٠) وظائف الزنك Functions of zinc

تتلخص الوظائف الفسيولوجية للزنك في جسم الإنسان في الآتي:

١ ـ يدخل الزنك في تركيب عدد كبير من الإنزيمات الضرورية لعملية أيض الغذاء، والتي تسمى بالإنزيمات المعدنية metalloenzymes ، أي الإنزيمات التي تعتمد في نشاطها وعملها على العناصر المعدنية. ويمكن تلخيص أهم الإنزيمات التي يعمل الزنك على تنشيطها كالتالي:

(أ) إنزيم الكربونيك أنهيدريز Carbonic anhydrase : يوجد هذا الإنزيم بتركيزات عالية في كرات الدم الحمراء، كما أشير أعلاه، ويلعب دورًا مهمًا في نقل ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الدم إلى الرئتين، وهو بذلك يعمل عكس وظيفة الهيموجلوبين hemoglobin الذي ينقل الأكسجين من الرئتين إلى الأنسجة. كما يساعد هذا الإنزيم على تكوين حمض الهيدروكلوريك

في المعدة والمحافظة على التوازن الحامضي ـ القاعدي acid-base balance في الجسم :

إنزيم الكربونيك أنهيدريز

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$$

(ب) إنزيم الأمينوببتيديز Aminopeptidase وإنزيم الكربوكسي ببتيديز Car-boxypeptidase : يوجـدان في العصارة البنكرياسية ويعملان على تحلل البروتين أثناء عملية الهضم، حيث يقومان بفصل مجموعة الكربوكسيل carboxyl group الطرفية ومجموعة الأمين على التوالي .

(جـ) إنزيم الفوسفاتيز القلوي Alkaline phosphatase : يتركز هذا الإنزيم في كرات الدم الحمراء ويلعب دورًا مهمًا في عملية أيض العظام bone metabolism .

(د) إنـزيم دي هيدروجينيز اللاكتيك Lactic acid dehydrogenase : يساعد على تحويل حمض البـيروفيك pyruvic acid إلى حمض اللاكتيك في مسار الجلايكوليسيز (التحلل السكري) glycolytic pathway .

(هـ) إنـزيم دي هيدروجينيز الألكحـول Hepatic alcohol dehydrogenase : يوجـد في الكبـد ويعمـل على أكسـدة الألكحـولات alcohols خصوصًا الإيثانول ethanol والميثانول methanol والإثيلين جليكول ethylene glycol ، مما يبطل مفعولها السام detoxifying .

(و) ردكتيز الرتنين Retinine reductase : هذا الإنزيم ضروري لأيض فيتامين أ، إذ يعمـل على تحويل الـرتينـول retinol إلى رتينال retinal أثناء عملية الإبصار vision process .

(ز) إنزيمات البوليميريز (ر. ن. أ، د. ن. أ) RNA and DNA polymyrases : يلعب هذان الإنزيمان دورًا بارزًا في عملية انقسام الخلية وبناء البروتين والأحماض النووية (RNA, DNA) .

٢ ـ يساعد الزنك على تكوين الكولاجين collagen الضروري لالتئام الجروح، لهذا فإنه في حالة نقص الزنك يصعب شفاء الجروح .

٣ ـ يدخل الزنك في تركيب الإنسولين insuline ويساعد على تخزينه في الجسم وبقاء فعاليته لمدة طويلة، لهذا قد يلعب دورًا مهمًا في الوقاية من مرض السكري diabetese .

٤ ـ يعمل الزنك على ترسيخ وتثبيت التركيب البنائي للأغشية الخلوية membr-ance structure .

٥ ـ يعد الزنك عاملاً أساسيًا للنضوج الجنسي sexual maturity ، إذ أنه ضروري لتكوين المني (الحيوانات المنوية) spermatogenesis وقيام الخصيتين بوظائفهما ونمو الأعضاء التناسلية.

٦ ـ يساعد على تحرك فيتامين أ من مخازنه في الكبد إلى الدم للمحافظة على تركيزه الطبيعي فيه، لهذا فإن إعطاء الحيوانات وجبة غذائية فقيرة في محتواها من الزنك يترتب عليه ظهور أعراض نقص فيتامين أ عليها.

٧ ـ يساعد الخلايا على القيام بوظائفها المناعية، وذلك لأن كرات الدم البيضاء تحتوي على تركيزات مرتفعة من الزنك كما ذكر أعلاه.

٨ ـ يعتبر الزنك عاملا ضروريًا للنمو، حيث لوحظ توقف نمو الفئران التي تناولت أغذية خالية من الزنك في فترة وجيزة، أي أنه يعتبر مانعًا للقزامة وصغر حجم الجسم.

(٣, ٤, ١٠) مصادر الزنك الغذائية Dietary sources of zinc

يوجد الزنك في مجموعة واسعة من الأغذية الحيوانية والنباتية وبنسب متفاوتة، لهذا يندر ظهور أعراض نقصه على الإنسان. وتعتبر مجموعة اللحوم meat group من أغنى المصادر بالزنك خصوصًا الأغذية البحرية seafood مثل المحاريات oysters والجمبري واللحوم والكبدة والكلاوي وصفار البيض. كما أن المكسرات (لوز كاشيو cashew وفول الصويا واللوز almond) والبقوليات (العدس والبازلاء والفاصوليا الجافة) والحبوب (جنين القمح، القمح الكامل whole wheat والشوفان oat) تعتبر من المصادر الجيدة للزنك. أما الخضروات والفواكه فإنها تعد من المصادر الفقيرة بالزنك فيما عدا الفاصوليا الخضراء green beans وفاصوليا ليما lima beans والكرنب. ويمتص الزنك الموجود في البروتينات الحيوانية animal proteins بمعدل أعلى من ذلك الموجود في البروتينات النباتية plant proteins ، ويعزى ذلك لوجود الألياف وحمض الفيتيك في

الأغذية النباتية، والتي تشكل مع الزنك معقدات يصعب امتصاصها من خلال جدار الأمعاء. وتجدر الإشارة إلى أن كمية الزنك في الغذاء يحددها كمية الماء المضافة للطعام وكذلك أنواع الأواني utensils المستخدمة للطهو أو تخزين الغذاء، حيث إن طهو الطعام في أوان مجلفنة galvanized utensils يزيد من محتوى الزنك فيها. ويقدر متوسط نسبة الزنك في حليب البقر الكامل whole milk بحوالي ٤ مجم لكل ليتر حليب، وفي حليب الأم خلال الستة شهور الأولى بعد الولادة بحوالي ١٦ مجم لكل ليتر من الحليب، ثم تنخفض هذه النسبة بعد ذلك إلى ٠,٦٥ مجم لكل ليتر من حليب الأم.

(٤,٤,١٠) نقص الزنك Deficiency of zinc

ظهرت أعراض نقص الزنك في الإنسان لأول مرة في الشرق الأوسط (إيران ومصر) على صورة تقزم dwarfism في الأولاد المراهقين boys adolescent وتأخر النمو الجنسي hypogenadism وتضخم الكبد والأنيميا الحادة severe anemia ، وذلك نتيجة لتناول كميات كبيرة من الخبز غير المخمر unleavened bread المصنوع من الحبوب الكاملة whole grain . حيث إن الحبوب غير المخمرة لفترة طويلة تحتوي على تركيزات مرتفعة من حمض الفيتيك phytate الذي يتحد مع الزنك الموجود بنسب عالية في الحبوب الكاملة ويعوق امتصاصه. وكما هو معروف فإن عملية التخمر تعمل على تحلل حمض الفيتيك بفعل إنزيم الفيتيز phytase الذي تفرزه الخميرة أو الموجود في الحبوب. وقد أظهرت الدراسات التي أجريت في إيران ومصر أن إعطاء الأولاد المراهقين جرعات من الزنك تؤدي إلى حدوث زيادة في الطول بمقدار بضعة سنتيمترات. كما أشارت الدراسات أن تناول الفئران غذاءً فقيراً في عنصر الزنك لفترة قصيرة يترتب عليه توقف نموها، بينما يؤدي تناول هذا الغذاء لفترة طويلة إلى موتها. كما أن نقص الزنك يؤدي إلى حدوث اضطرابات في حاستي التذوق taste والشم smell ، حيث يحدث انخفاض في حدة حاسة التذوق hypogeusia أو الشعور الدائم بالطعم الفاسد أو غير السار dysgeusia أو ضعف في حدة حاسة الشم، وقد حصل تحسن في حاسة التذوق taste sense بعد إعطاء جرعات من الزنك. وبشكل عام يؤدي نقص الزنك في الإنسان إلى انخفاض نسبته في البلازما وكرات الدم الحمراء وضعف في حدة التذوق وفقد الشهية للأكل وبطء في النمو وتأخر في التئام الجروح وتساقط الشعر وانخفاض مستوى الزنك

فيه وسهولة الإصابة بالعدوى وضعف المناعة الخلوية cellular immunity وانخفاض إفراز الأنسولين (بسبب ارتفاع في مستوى السكر في الدم) وانخفاض في تحرك فيتامين أ من مخازنه في الكبد، مما يؤدي إلى ظهور أعراض نقص فيتامين أ التي من أهمها العمى الليلي والإصابة بمرض جلدي يسمى acrodermatitis enteropathic الذي يحدث بسبب سوء امتصاص الزنك الوراثي وتظهر أعراضه على شكل بثرات على الجلد ونقص في النمو. ويمكن معالجة هذا المرض والأعراض الأخرى لنقص الزنك التي ذكرت أعلاه بإعطاء جرعات من الزنك أو تناول أغذية غنية به.

(٥، ٤، ١٠) احتياجاتُ الزنك اليومية Daily requirements of zinc

تبلغ المقررات الغذائية اليومية RDA التي حددتها هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي NFB/NRC (١٩٨٩م) إلى ١٥ مجم زنك يوميًا للمراهقين والبالغين والمسنين والحوامل و ١٢ مجم للمراهقات والبالغات والمسنات، وتزداد هذه المقررات إلى ١٩ مجم و ١٦ مج أثناء الشهور الستة الأولى والثانية من الرضاعة على التوالي. كما يوصى بإعطاء ٥ مجم زنك في اليوم للرضع infants و ١٠ مجم للأطفال، كما أن المواصفات الغذائية الكندية Canadian Dietary Standard قدرت الاحتياجات اليومية من الزنك للرجل البالغ بحوالي ١٠مجم وللمرأة البالغة ٩ مجم، بينما قدرت منظمة الصحة العالمية WHO الاحتياجات اليومية للشخص البالغ بحوالي ٢,٢ مجم. وتجدر الإشارة إلى أن تناول حصتين two sevaings من البروتين الحيواني في اليوم (لحم أحمر) يمد الجسم باحتياجاته اليومية من الزنك.

(٦، ٤، ١٠) امتصاص الزنك ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of zinc

يُمتص الزنك أساسًا من الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة (الاثنى عشر)، وكذلك تمتص كمية قليلة منه من الجزء الأوسط منها (الصائم Jejunum). ويقدر معدل امتصاص الزنك بحوالي ١٠-٣٠٪ من الكمية الموجودة في الغذاء، أي يُمتص ٢-٣ مجم من الزنك يوميًا من ١٠-١٥ مجم الموجودة عادة في الغذاء، ولقد وجد أن الزنك الممتص إما يذهب إلى الدم من خلال جدار الأمعاء أو يستعمل في عملية أيض خلايا

الامتصاص أو يتحد مع البروتين الغني بالكبريت sulphur والذي يسمى بالثيونين thio-nein لتكوين ميتالوثيونين metallothionein الذي يخزن في خلايا الأمعاء وينظم امتصاص الزنك في الجسم. وينتقل الزنك في الدم متحدًا مع الألبيومين albumin إلى الكبد، حيث يخزن فيه إلى أن يحتاج إليه الجسم. وتجدر الإشارة إلى أن متوسط تركيز الزنك في السيرم serum حوالي ١٠٠ ميكروجرام لكل ١٠٠ ملل، وهذا التركيز ثابت في الإنسان طول حياته ولا يتأثر بالجنس أو العمر (بعد سن السنتين). يخرج الزنك غير الممتص أساسًا مع البراز، وتخرج كميات قليلة مع البول (٣٠٠-٧٠٠ ميكروجرام يوميًا أو ٥٠٠ ميكروجرام في المتوسط) والعرق (١٠٠٠-٣٠٠٠ ميكروجرام في اليوم). كما أن إفرازات الصفراء أو البنكرياس تحتوي على الزنك. ويؤدي احتواء الوجبة الغذائية على تركيزات مرتفعة من الكالسيوم أو حمض الفيتيك phytic acid الذي يوجد في الحبوب الكاملة والبقوليات إلى إعاقة امتصاص الزنك منها نتيجة لتكون معقدات فيتات الكالسيوم والزنك غير القابلة للذوبان في الماء. كما يقل معدل امتصاص الزنك عندما تحتوي الوجبة الغذائية على تركيزات مرتفعة من الألياف والفوسفور phosphorus والنحاس copper والكادميوم cadmium. إلا أن معدل امتصاصه يزداد بانخفاض كميته في الغذاء وبزيادة حاجة الجسم له.

(١٠,٤,٧) تعاطي جرعات مفرطة من الزنك Excess doses of zinc

يندر ظهور أعراض التسمم بالزنك على الإنسان، إلا أن هيئة الغذاء والتغذية الأمريكية حذرت من تناول كميات تزيد على المقررات الموصى بها (١٥ مجم يوميًا). وبشكل عام فإن الزنك يعتبر من أقل العناصر المعدنية الصغرى trace elements المسببة للتسمم، غير أن تناول أملاح الزنك zinc salt بمعدل ٦٠-١٢٠ مرة زيادة على المقررات الموصى بها يؤدي إلى حدوث تقيؤ وإسهال ودوار (دوخة) dizziness وخمول drowsiness وفشل كلوي ونعاس lethargy وأنيميا. كما أن تناول جرعات كبيرة من الزنك يتعارض مع استفادة الجسم من النحاس copper.

(١٠,٥) المنجنيز Manganese (Mn)

(١٠,٥,١) المقدمة Introduction

يحتوي جسم الشخص البالغ على حوالي ٢٠ مجم من المنجنيز، ويتركز معظمه

في العظام والكبد والغدة النخامية والكليتين. كما يوجد المنجنيز بتركيزات أقل في العضلات والرئة الأنسجة الضامة ونواة وستوبلازم الخلية. ويتراوح تركيز المنجنيز في بلازما الدم ما بين ٤-٢٠ ميكروجرام لكل ١٠٠ ملل.

(٢, ٥, ١٠) وظائف المنجنيز Functions of manganese

تتلخص الوظائف الفسيولوجية للمنجنيز في جسم الإنسان في التالي:

١ - يعمل المنجنيز على تنشيط العديد من الإنزيمات اللازمة لأيض البروتينات والدهون والكربوهيدرات المولدة للطاقة وأهمها:

(أ) الأرجنيز Arginase : يساعد على تكوين اليوريا urea التي يطرد عن طريقها النيتروجين من الجسم (الأمونيا السامة).

(ب) الببتيديزات Peptidases : تعمل هذه الإنزيمات على تحلل البروتينات في الأمعاء إلى ببتيدات قصيرة وأحماض أمينية يمكن أن يستفيد منها الجسم.

(جـ) بيروفات كربوكسيليز Pyruvate carboxylase : يلعب دورًا مهمًا في عملية تحويل البيروفات pyruvate إلى أكسالو أسيتات oxaloacetate داخل دورة كربس.

(د) سوبر أكسيديز ديزميوتيز Superoxidase dismutase : يساعد هذا الإنزيم على حماية الميتوكوندريا mitochondria من التهدم الأكسيدي oxidative damage.

(هـ) الإنزيمات الضرورية لتصنيع الأحماض الدهنية والكوليسترول: يدخل المنجنيز في تركيب كثير من الإنزيمات الموجودة في مسارات تصنيع الكوليسترول والأحماض الدهنية. كما يلعب المنجنيز دورًا مهمًا في نقل الدهون، حيث يدخل في تركيب عامل نقل الدهن من الكبد lipotropic factor كالكولين.

(و) إنزيمات أخرى: يلزم المنجنيز لتنشيط إنزيمات أخرى مثل الأيسوميريز isomerase والبرولينيز prolinase والهيروليز hyrolase وجليكوسيل ترانسفيرز glycosyltransferase واللايبيز lipase.

٢ - يلزم المنجنيز لعملية تطوير العظام والأنسجة الضامة connective tissues والتكاثر reproduction وتنظيم تهيج الأعصاب nervous irritability.

٣ ـ يعمل المنجنيز على تنشيط الإنزيمات الضرورية لتصنيع الكربوهيدرات المخاطية mucopolysaccharides اللازمة لتكوين الغضاريف.

(١٠,٥,٣) مصادر المنجنيز الغذائية Dietary sources of manganese

يتوافر المنجنيز في مجموعة واسعة من الأغذية التي يتناولها الإنسان يوميًا ومن مصادره الرئيسية المخ والبقوليات (البازلاء والفاصوليا وفول الصويا) والحبوب الكاملة والمكسرات والخضروات الورقية والشاي والقهوة. ولكن كمية المنجنيز في الخضروات والفواكه تتوقف على كميته في التربة التي ينمو عليها النبات. وتجدر الإشارة إلى أن اللحوم والحليب ومنتجاته والأغذية الحيوانية الأخرى تعد من المصادر الفقيرة بالمنجنيز.

(١٠,٥,٤) نقص المنجنيز Deficiency of manganese

لا تعرف أعراض نقص المنجنيز على الإنسان، أما بالنسبة للحيوانات فتظهر الأعراض بوضوح على صورة ضعف في التكاثر وبطء في النمو وتأخر في التئام الجروح وتشوهات في الجهاز العظمي بسبب عدم تكون الكربوهيدرات المخاطية اللازمة لتكوين الغضاريف. كما لوحظ أن نقص المنجنيز في غذاء الفئران يؤدي إلى عقمها بسبب تهدم أنسجة الخصيتين وتوقف نموها وتجمع الدهن في الكبد. أما بالنسبة للدواجن فتظهر أعراض النقص على شكل تشوهات في العظام وانخفاض في معدل فقس البيض ونقص في سمك قشرة البيضة.

(١٠,٥,٥) احتياجات المنجنيز اليومية Daily requirements of manganese

حتى الوقت الحاضر لم تحدد هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي (١٩٨٩م) المقررات الغذائية الموصى بها للمنجنيز، لكنها قدرت الاحتياجات اليومية التي تفي باحتياجات الجسم وهي ٠,٣ ـ ١ مجم للرضع و ١ـ٣ مجم للأطفال و ٢ـ٥ مجم للمراهقين والبالغين.

(١٠,٥,٦) امتصاص المنجنيز ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of manganese

يمتص المنجنيز بصعوبة في الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة وبميكانيكية (طريقة) تشابه تلك التي تحدث عند امتصاص الحديد. وتمتص نسبة منخفضة جدًا من المنجنيز، وهي تقدر بحوالي ٣-٤٪ من الكمية المتناولة يوميًا في الغذاء (٥, ٢-٧ مجم). وبعد الامتصاص يتحد المنجنيز مع ألفا ـ ماكرو جلوبيولين macroglobulin لتكوين الترانسمانجانين transmanganin ، وهو الصورة التي تنتقل أو تحمل المنجنيز في الدم الداخل portal bloods إلى الكبد. كما تمتص الأنسجة الغنية بالميتوكوندريا mitochondria المنجنيز مباشرة من الدم. والجدير بالذكر أنه يوجد توازن equilibrium بين المنجنيز في البلازما وفي الدم، بالإضافة إلى أن المنجنيز يوجد في أنسجة الجسم في حالة متحركة ديناميكية. وتؤدي زيادة تناول الحديد والفوسفور والكالسيوم والكوبالت cobalt إلى خفض معدل امتصاص المنجنيز. ويطرح المنجنيز خارج الجسم بصورة أساسية مع الصفراء bile التي عن طريقها يعاد امتصاص كمية كبيرة منه، كذلك فإن جزءًا بسيطًا منه يخرج مع إفرازات البنكرياس والبول.

(١٠, ٥, ٧) تعاطي جرعات مفرطة من المنجنيز Excess doses of manganese

لا يحدث التسمم بالمنجنيز نتيجة زيادة تناول الأغذية الغنية به، ولكنه قد يحدث بين المشتغلين بالتعدين miners بسبب استنشاق كميات كبيرة من غبار المنجنيز man-ganese dusts أثناء العمل لفترة طويلة، مما يؤدي إلى تراكمه في الجهاز العصبي والمركزي والكبد. وتظهر أعراض التسمم بالمنجنيز في صور مشابهة لأعراض أمراض المخ brain disease مثل اكتساء الوجه بتعبير غريب مثل القناع والصوت المنخفض الرتيب voice monotonous والمصحوب بلهجة سريعة في الكلام وصلابة العضلات muscle regidity وارتعاش في الأيدي والضحك الخارج عن الإرادة والمشي بقفزات مرحة.

(١٠, ٦) اليـــود Iodine (I)

(١٠, ٦, ١) المقدمـــة Introduction

يعتبر اليود من العناصر الغذائية المهمة في جسم الإنسان نظرًا لأنه يدخل في تركيب هرمونات الغدة الدرقية. وقد اكتشف اليود عام ١٨١١م من قبل العالم كورتيس Courtois في بعض الأعشاب البحرية، ثم تمكن بعدئذ الأطباء الإيطاليون عام

١٩٢٠م من معالجة مرض الجويتر goiter بإعطاء اليود. ويحتوي جسم الإنسان البالغ على كميات قليلة جدًا من اليود تقدر بحوالي ٢٥ـ٥٠ مجم، يوجد منها ما يقرب من ٧٥٪ في الغدة الدرقية thyroid gland التي تزن ٢٠ـ٢٥ جم، ويوزع الباقي في أنسجة الجسم وإفرازاته خصوصًا العضلات والجلد والمبايض والدم والعظام والغدد اللعابية والثديية وغيرها. وقد قام العلماء بدراسة عنصر اليود على نطاق واسع مقارنة بالعناصر الأخرى، وذلك بسبب تفشي مرض تضخم الغدة الدرقية في مناطق كثيرة من العالم خصوصًا سكان القارة الأمريكية نتيجة تناولهم وجبات غذائية فقيرة في اليود.

(٢، ٦، ١٠) وظائف اليود Functions of iodine

يمكن تلخيص وظائف اليود الفسيولوجية في جسم الإنسان كالتالي:

١ ـ تتمثل الوظيفة الأساسية لليود في أنه يدخل في تركيب هرمونات الغدة الدرقية thyroids hormones وهي:

(أ) هرمون الثيروكسين Thyroxin (T4) : وهو يتكون من جزيئين من التيروسين tyrosine متصلة بأربع ذرات من اليود. ولقد تمكن العلماء عام ١٨٩٥م من اكتشاف اليود في الغدة الدرقية، ثم في سنة ١٩٢٦ عرف التركيب الكيميائي له، وبعد ذلك بسنة واحدة استطاع العلماء تحضيره معمليًا. ويعمل هذا الهرمون على تنظيم معدل الأكسدة oxidation (أيض الطاقة) في داخل الخلايا cells ، لهذا فهو يؤثر على معدل النمو العقلي والجسماني خصوصًا الجهاز العصبي nervous system ، أي أن الثيروكسين ينظم معدل الأيض الأساسي basal metabolic rate ونشاط الجهاز العصبي والدوري والعضلي والتناسلي (يؤثر على الإنجاب). كما أن هذا الهرمون ضروري لتوازن الماء ونشاط بعض الغدد الصماء الأخرى.

(ب) هرمون الثيرونين ثلاثي اليود Tri-iodothyronine (T) : وهو يتكون من جزيئين من التيروسين متصلة بثلاث ذرات من اليود، وقد اكتشف وجوده في الغدة الدرقية عام ١٩٥٢م، ويؤدي هذا الهرمون نفس وظائف هرمون الثيروكسين التي تتمثل في تنشيط عمليات الأكسدة والأيض الغذائي.

٢ ـ يعمل الثيروكسين على تنشيط تحويل الكاروتين caroteine إلى فيتامين أ (Vit-A amin) وامتصاص الجلوكوز من خلال جدار الأمعاء وتصنيع البروتين بواسطة الريبوزوم ribosome . كما يعمل إفراز الثيروكسين في الجسم على خفض مستوى الكوليسترول في الدم، بالإضافة إلى أنه يلعب دورًا مهمًا في عمليات التكاثر والإنجاب.

(١٠,٦,٣) مصادر اليود الغذائية Dietary sources of idoine

تتحدد نسبة اليود في النباتات المختلفة تبعًا لكمية اليود الموجود في التربة التي تنمو فيها هذه النباتات، أي أن التربة الغنية في محتواها من اليود تنتج محاصيل زراعية غنية في محتواها من اليود والعكس. وتعتبر الأغذية البحرية seafoods مثل الأسماك والجمبري والصدفيات من المصادر الغنية جدًا باليود، لهذا فإن سكان المناطق الساحلية يحصلون على كامل احتياجاتهم من اليود من هذه المصادر، كما أن معدل الإصابة بمرض الجويتر goiter or iodine deficiency disorder (IDD) منخفض جدًا بينهم. كذلك فإن الملح اليودي iodized salt يعتبر مصدرًا جيدًا لليود، حيث يحتوي على ٠,٠١٪ يود في صورة أيوديد الصوديوم أو البوتاسيوم sodium or potassium iodide ، أي أن ربع ملعقة صغيرة من ملح الطعام (١,٢٥ جم) تمد الجسم بحوالي ٩٥ ميكروجراما من اليود. ولقد وجد أن نسبة اليود في الأغذية الحيوانية مثل البيض والحليب ومنتجاته واللحوم تعتمد على نوع العليقة التي يتغذي عليها الحيوان وكمية اليود فيها، فمثلاً تكون نسبة اليود مرتفعة في حليب الأبقار التي تتغذى على علائق مضاف إليها مدعمات اليود iodine supplements . وبشكل عام فإن الوجبة الغذائية لا تمد الجسم باحتياجاته اليومية من اليود إلا في حالة استخدام الملح اليودي أثناء الطهو. وتحتوي أوراق النباتات خصوصًا السبانخ على نسبة أعلى من اليود عما في الجذور، كما أن نسبة اليود في أسماك مياه البحار (٣٠٠ـ٣٠٠٠ ميكروجرام لكل كيلوجرام) أعلى عما في أسماك المياه العذبة (٢٠ـ٤٠ ميكروجراما لكل كيلوجرام).

تحتوي بعض الأغذية على مواد تعوق امتصاص اليود والاستفادة منه، وتسمى هذه المواد بالمواد المدرقة goitrogens . وتعد العائلة الكرنبية cabbage family من أهم الأغذية المحتوية على المواد المدرقة مثل اللفت السويدي rutabagas واللفت turnip

والملفوف cabbage . كما توجد المواد المدرقة في الفول السوداني peanuts والبذور الزيتية oilseeds مثل بذور اللفت (الشلجم) rapeseeds . إلا أن عملية الطهو تعمل على تثبيط نشاط المواد المدرقة، مما يقلل من تأثيرها الضار على امتصاص اليود أو الإصابة بمرض الجويتر goiter . كما توجد بعض المواد الكيميائية التي تعوق أيض اليود، ومن أهمها الثيوسيانات thiocyanate والبركلورات perchlorate اللذان يمنعان اتحاد اليود مع التيروسين، كما يعوق الكورتيزون اتحاد اليود مع البروتين.

(٤, ٦, ١٠) نقص اليود Deficiency of iodine

تتمثل أعراض نقص اليود في الإنسان في التالي:

١ ـ يسبب نقص اليود انخفاضا في إنتاج هرمون الثيروكسين، مما يؤدي إلى تضخم الغدة الدرقية (مرض الجويتر goiter disease) التي تقع أسفل الرقبة وزيادة نشاطها لكي تستطيع الحصول على كمية اليود القليلة في الجسم. ويكثر تفشي مرض تضخم الغدة الدرقية في المناطق التي تكون فيها التربة والمياه فقيرة بعنصر اليود خصوصًا المناطق الجبلية وسفوح التلال نتيجة الغسيل المستمر لليود بسبب الأمطار، وينعكس ذلك على كميته في النباتات النامية في هذه التربة. ويتميز مرض الجويتر بانخفاض معدل الأيض الأساسي وانخفاض حرارة الجسم والشعور بالكسل والبلادة sluggish-ness وبطء سرعة التنفس والنبض وتغلظ الأنسجة الضامة تحت الجلد والأعضاء. ويمكن معالجة مرض الجويتر في المراحل الأولى بواسطة إعطاء هرمون الثيروكسين أو اليود عن طريق الفم أو الاستنشاق أو في صورة دهان على الجسم، كما أن استعمال الملح اليودي يمكن أن يقلل من الإصابة بهذا المرض. أما في المراحل المتأخرة من المرض والتي تتميز بحدوث تضخم كبير في الغدة الدرقية فإنه يلزم استئصالها جراحياً لأنها تعيق التنفس وتؤثر على الصوت وتشوه شكل العنق. وتجدر الإشارة إلى أن الإناث أكثر تعرضا للإصابة بمرض الجويتر من الذكور خصوصًا في فترات الحمل والرضاعة والمراهقة والبلوغ. ويمكن للدول وقاية سكانها من الإصابة بمرض الجويتر عن طريق إلزام المواطنين باستعمال الملح اليودي، وكذلك عن طريق دعم مياه الشرب باليود.

ويوضح الشكل (٢, ١٠) مرض الجويتر الناتج عن نقص اليود.

شكل (٢ , ١٠) . مرض الجويتر Goiter الناتج عن نقص اليود .

عن : Whitney, E.N. *et al.* (1990)

٢ ـ يؤدي نقص اليود إلى انخفاض في إنتاج هرمون الثيروكسين فتقل بذلك عمليات أكسدة العناصر الغذائية وإنتاج الطاقة في الجسم، أي أن انخفاض إفراز الهرمون يقلل من سرعة عمليات الأيض الغذائي، والعكس.

٣ ـ يترتب على نقص اليود أثناء فترة الحمل إصابة الطفل بحالة تسمى cre-tinism ، وفيها يولد الطفل ولديه نقص كبير في اليود، ومصاب بتخلف عقلي وتتميز هذه الحالة بتوقف نمو عقل الطفل إلى مستوى ما قبل سن المدرسة وتوقف النمو الجسماني stunted growth والتقزم dwarfism وكبر حجم الوجه واللسان والشفاه وخشونة الصوت وتضخم البطن وبروزها. وتحدث هذه الأعراض بسبب انخفاض معدل الأيض الأساسي (BMR) الضروري لنمو الأنسجة وتطور الجهاز العصبي. ويمكن معالجة هذه الحالة بإعطاء الرضيع هرمون الثيروويد thryoid hormone أو اليود في المراحل المبكرة من المرض، وإلا فإن الأعراض تصبح مزمنة.

٤ ـ يسبب نقص اليود في البالغين (أثناء فترة البلوغ) الإصابة بالمكسيديما myxedema التي تتميز بتضخم وتورم الوجه وتوقف النمو وخشونة الشعر واصفرار الجلد وجفافه وعدم القدرة على تحمل البرد وبحة وانخفاض الصوت.

ومما تجدر الإشارة إليه أن الإفراط في تناول اليود يمكن أن يسبب زيادة في نشاط الغدة الدرقية والإصابة بمرض الجويتر، وتتميز الزيادة في نشاط الغدة الدرقية hyper-thyroidism بارتفاع في مستوى هرمون الثيروكسين وهرمون الثيرونين ثلاثي اليود ومعدل الأيض الأساسي BMR إلى ١٠٠٪ عن المعدل الطبيعي، كما يتميز الأشخاص المصابون بزيادة في نشاط الغدة الدرقية بنقص في الوزن والعصبية nervousness وزيادة الشهية للأكل وعدم القدرة على تحمل الحرارة وارتعاش اليدين وجحوظ العينين.

(١٠,٦,٥) احتياجات اليود اليومية Daily requirements of iodine

حددت هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي FNB/NRC (١٩٨٩م) المقررات الغذائية المقترحة RDA لليود، والتي يمكن تلخيصها كالتالي:

الرضع infants (من الولادة ـ حتى السنة الأولى من العمر): ٤٠ ـ ٥٠ ميكروجراما
الأطفال childern (١ـ١٠ سنوات) : ٧٠ـ١٢٠ ميكروجراما
المراهقون والبالغون والمسنون (ذكور وإناث) : ١٥٠ ميكروجرامًا
الحوامل : ١٧٥ ميكروجراما
المرضعات : ٢٠٠ ميكروجرام

يتضح مما ذكر أعلاه أن المقررات الموصى بها من اليود أثناء فترة الحمل والرضاعة للمرأة تزيد عما هو موصى به في الحالة الطبيعية، وذلك لتغطية احتياجات الجنين الذي يحصل على جميع احتياجاته من اليود من الأم، بالإضافة إلى أن الأم المرضع تفقد كمية كبيرة منه مع الحليب.

(١٠,٦,٦) امتصاص اليود ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of iodine

يوجد اليود في الغذاء أساسًا في صورة أيوديد iodide غير عضوي، وبكميات قليلة في صورة مركبات عضوية. وينفصل اليود العضوي عن المركبات العضوية ويختزل إلى أيوديد أثناء عملية الهضم. ويمتص اليود من خلال جدار الأمعاء الدقيقة في صورة غير عضوية (أيون أيوديد) إلى الدم مباشرة، وذلك بمساعدة بروتين ناقل له. كما أن جزءًا قليلاً جدًا منه يمتص من خلال جدار المعدة إلى الدم مباشرة. وينقل اليود الممتص في الدم في صورة أيوديد حر free-iodide أو مرتبطًا مع بروتين بري البيومين prealbumine في صورة يود مرتبط بالبروتين protein-bound iodine (PBI) . بعد ذلك يتجه حوالي ٣٥٪ من الأيوديد في الدم إلى الغدة الدرقية، ويخرج الباقي مع البول أساسًا، وقد يخرج جزء قليل منه مع العرق والبراز. وفي داخل الغدة الدرقية يتأكسد الأيوديد iodide إلى أيودين iodine ويتحد مع التيروسين tyrosine لتكوين تيروسين أحادي وثنائي اليود mono-and diiodotyrosine والذي يتحول بعد ذلك إلى هرمون الثيروكسين thyroxin hormone . ثم يتحد الثيروكسين مع بروتين الجلوبيولين لتكوين ثيروجلوبيولين thyroglobuline ، وهي الصورة التي يخزن عليها هرمون الثيروكسين في

الغدة الدرقية ومنها يفرز إلى الجسم حسب الحاجة بمساعدة الإنزيمات اللايسوزومية lysosomal enzymes .

وينظم إفراز هرمون الثيروكسين بواسطة الغدد الدرقية كالآتي :

١ ـ الغدة النخامية Pituitary gland

تفرز هذه الغدة الهرمون المنشط للغدة الدرقية thyroid stimulating hormone (TSH) ، والذي يعرف باسم الثيروتروفين thyrotrophin ، وهو يعمل على تنشيط إفراز هرمون الثيروكسين، كما ينظم هرمون الثيروكسين إفراز TSH والذي يؤدي انخفاض مستواه في الدم hypothyroidism إلى تحفيز إفراز هرمون TSH ، وبالعكس .

٢ ـ الهيبوثالمس Hypathalamus

يضعف إفراز الغدة النخامية لهرمون TSH عند حدوث تلف في أجزاء معينة من الهيبوثالمس يسبب ويقلل هذا من إفراز الثيروكسين .

(١٠,٧) السيلينيوم Selenium

(١٠,٧,١) المقدمة Introduction

لقد عرفت أهمية السيلينيوم في تغذية الإنسان والحيوان عام ١٩٥٧م، وتم عزله بواسطة العالم Schwarts وآخرون في نفس العام . إلا أنه كان معروفًا قبل ذلك التاريخ أن السيلينيوم يوجد في بعض الأغذية مثل الحبوب واللحوم كمادة تمنع تليف الكبد في الفئران وضمور العضلات في الماشية والغنم، بالإضافة إلى أنه كان معروفًا أن تناول الحيوانات كمية كبيرة من السيلينيوم يؤدي إلى ظهور أعراض التسمم . وتحتوي جميع أنسجة الجسم فيما عدا الدهون على كميات ضئيلة جدًا trace من السيلينيوم، إلا أنه يوجد بتركيزات مرتفعة في الكبد والكليتين والطحال والخصيتين testes والقلب . ويقدر متوسط السيلينيوم في الدم بحوالي ١٥ ميكروجراما لكل ١٠٠ملل، بينما يحتوي الكبد

على حوالي ١٥ مجم ويعتبر هذا أعلى تركيز يوجد في أنسجة الجسم . كما كان يعرف قديما أن السيلينيوم يمكن أن يحل مكان فيتامين هـ (Vitamin E) كمضاد للأكسدة وفي وقاية الحيوانات ومعالجتها من أعراض نقص فيتامين هـ.

(١٠,٧,٢) وظائف السيلينيوم Functions of selenium

تتمثل الوظائف الفسيولوجية للسيلينيوم في جسم الإنسان في الآتي:

١ ـ يعمل السيلينيوم أساسًا كمضاد للأكسدة antioxidants في جسم الإنسان، حيث يمنع بمساعدة فيتامين هـ (Vit. E) أكسدة كرات الدم الحمراء. كما أنه يعمل أحيانا بمفرده كمانع للأكسدة بدلاً من فيتامين هـ.

٢ ـ يلعب دورًا رئيسيًا في حماية أغشية الخلايا cell membrance من التأكسد، إذ أنه يدخل في تركيب الإنزيم المعدني metalloenzyme المسمى بيروكسيديز جلوتاثيون glutathione peroxidase ويعمل على تثبيط نشاطه وعدم تكوين شقوق حرة free rad-icals ، مما يحافظ على سلامة خلايا الجسم والميتوكوندريا.

٣ ـ يساعد السيلينيوم على حدوث الأكسدة الفوسفورية oxidative phosphory-lation لمركبات الطاقة.

٤ ـ يحمي الإنسان من الإصابة بمرض كيشان Keshan's disease الذي يعمل على انحلال الكبد، بالإضافة إلى أنه يقي الحيوانات من أعراض نقص فيتامين هـ مثل تليف الكبد liver necrosis في الفئران وتحلل العضلات في الحملان والعجول والنحيزة النتحية oxidative diathesis في فراخ الدواجن.

(١٠,٧,٣) مصادر السيلينيوم الغذائية Dietary sources of selenium

يوجد السيلينيوم في الأغذية في صورة عضوية متحدًا مع البروتينات، حيث إنه يرتبط مع الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت مثل المثيونين methionine والسيستيين cysteine في صورة لينومثيونين lenomethionine وسلينوسيستيين selenocys-teine . وتعد بدائل اللحوم meat exchange من المصادر الغنية بالسيلينيوم خصوصًا الكبدة والكلاوي والأغذية البحرية واللحوم والبيض. أما بالنسبة للأغذية النباتية

فيتوقف محتواها من السيلينيوم على تركيزه في التربة التي ينمو فيها النبات، ويتراوح تركيزه في النباتات المختلفة ما بين ٠,١ إلى ٠,٣ جرام لكل كيلوجرام من الوزن الجاف. وتعتبر الحبوب cereals مصادر لا بأس بها لعنصر السيلينيوم، بينما تعد الخضروات والفواكه من المصادر الفقيرة به. يوجد السيلينيوم بتركيزات مرتفعة في ترب بعض مناطق العالم مثل فلسطين وجنوب أفريقيا وكندا وفنزويلا وروسيا وأيرلنده.

(١٠,٧,٤) نقص السيلينيوم Deficiency of selenium

لا تعرف أعراض نقص السيلينيوم على الإنسان، ولكن يؤدي نقصه في بعض حالات سوء التغذية لدى الأطفال الناجمة عن نقص البروتين والسعرات إلى زيادة التعقيدات والصعوبات الصحية. وتظهر أعراض التسمم بالسيلينيوم على الحيوانات في صورة تساقط للشعر خصوصًا في العنق والذنب وكذلك تصلب في المفاصل وتغيرات في الحافر أو الظلف.

(١٠,٧,٥) احتياجات السيلينيوم اليومية Daily requirements of selenium

حددت هيئة الغذاء والتغذية الأمريكية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي NRC/NFB (١٩٨٩م) المقررات الغذائية المقترحة RDA من السيلينيوم، وهي ١٠-١٥ ميكروجراما للرضع و ٢٠ ميكروجراما للأطفال حتى عمر ٦ سنوات و ٤٠-٥٠ ميكروجرامًا للمراهقات و٧٠ ميكروجرامًا للبالغات والمسنات و٤٥ - ٥٠ ميكروجرامًا للمراهقين و ٥٥ ميكروجراما للبالغين والمسنين. أما بالنسبة للحوامل فإنه يوصى بتناول ٦٥ ميكروجراما سيلينيوم في اليوم، وتزداد هذه الكمية إلى ٧٥ ميكروجراما أثناء فترة الرضاعة. وتجدر الإشارة إلى أن الوجبة الغذائية المتكاملة تؤمن احتياجات الجسم اليومية من السيلينيوم والتي تقدر بحوالي ٠,٠٥ - ٠,٢ مجم.

(١٠,٧,٦) امتصاص السيلينيوم ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of selenium

لم يعرف حتى الآن تفصيل ميكانيكية امتصاص وأيض السيلينيوم، إلا أن نسبة

امتصاصه تتوقف على الشكل الكيميائي للسيلينيوم المستهلك في الغذاء. كما أن امتصاص السيلينيوم واستفادة الجسم منه تتوقف على وجود عناصر معدنية أخرى مثل الكبريت sulphur والزرنيخ arsenic والكادميوم cadmium والزئبق mercury . وتتراوح نسبة امتصاص السيلينيوم ما بين ٤٤ ـ ٨٠٪ من مصادره الغذائية، حيث إن معدل امتصاصه من المصادر النباتية يكون أعلى من معدل امتصاصه من المصادر الحيوانية أو من أملاح selenates أو الـ selenites . ويطرح السيلينيوم خارج الجسم أساسًا مع البول والبراز، وتتناسب الكمية المفرزة مع البول مع كميته في الغذاء ومستواه في الدم.

(١٠,٧,٧) تعاطي جرعات كبيرة من السيلينيوم Excess doses of selenium

يؤدي زيادة تناول الحيوانات لعنصر السيلينيوم إلى ظهور أعراض التسمم عليها، فمثلاً الماشية cattle التي تتناول الأعشاب النامية في مناطق غنية بالسيلينيوم تصاب بمرض القلوي alkali disease الذي يتميز بالخمول وتشوه الأظافر hooves de-formity وفقدان الشعر والعمى وشلل العضلات وقد تحدث الوفاة في النهاية. كما أن زيادة تناول السيلينيوم لدى الأطفال أثناء تطور الأسنان ربما يساعد على تسوسها والتهاب اللثة. أما بالنسبة للإنسان فلا تعرف تركيزات السيلينيوم التي تؤدي إلى ظهور أعراض التسمم، إلا أنه لا ينصح بتناول جرعات تزيد على ٢,٠ مجم في اليوم.

(١٠,٨) الموليبدنيوم Molybdenum (Mo)

(١٠,٨,١) المقدمة Introduction

عرفت أهمية الموليبدنيوم في تغذية الإنسان والحيوان حديثًا على الرغم من أن أهميته كعنصر أساسي لنمو النبات معروفة منذ مدة طويلة، ولقد أظهرت الدراسات أنه يوجد في جميع أنسجة وسوائل جسم الإنسان والنبات. ويحتوي جسم الإنسان البالغ على حوالي ٩ مجم من الموليبدنيوم الذي يتركز معظمه في الكبد والكليتين وكرات الدم والخلايا الكظرية adrenals cells .

(٢ , ٨ , ١٠) وظائف الموليبدنيوم Functions of molybdenum

تتلخص وظائف الموليبدنيوم الفسيولوجية في جسم الإنسان في الآتي:

١ ـ تتمثل الوظيفة الرئيسية لهذا العنصر في أنه يدخل في تركيب اثنين من الإنزيمات الفلافينية flavoprotein enzymes ، أي أنه يعمل كعامل مساعد cofactor لتنشيط الإنزيمين التاليين:

(ا) **أكسيديز الزانثين Xanthine oxidase** : يعمل هذا الإنزيم على أكسدة الزانثين xanthine (البيورينات) إلى حمض اليوريك uric acid ، كما أنه يعمل على تحريك الحديد من مخازنه في الكبد وارتباطه بالترانس فيرين transferrin الذي ينقله إلى أنسجة الجسم المختلفة عند الحاجة.

(ب) **أكسيديز الألدهيد Aldehyde oxidase** : يلعب هذا الإنزيم دورًا رئيسيًا في أكسدة الألدهيدات aldehydes إلى أحماض عضوية carboxylic acids .

٢ ـ يعد الموليبدنيوم ضروريًا لنمو البكتريا التي تثبت النيتروجين nitrogen-fixing bacteria ، ويؤثر ذلك على تصنيع البروتينات، كما أنه يلزم لنمو بعض الفطريات التي تفرز الميكوتوكسينات mycotoxins ، وهي مواد سامة ومسببة للطفرات السرطانية والوراثية.

٣ ـ أشارت بعض الدراسات إلى أن الموليبدنيوم المتحد مع القلوي يلعب دورًا مهمًا في حماية أنامل الأسنان من التسوس، وقد يعزى ذلك إلى عمله على زيادة قدرة الأسنان على الاحتفاظ بالفلور.

(٣ , ٨ , ١٠) مصادر الموليبدنيوم الغذائية Dietary sources of molybdenum

يوجد الموليبدنيوم بنسب متفاوتة في العديد من الأغذية النباتية والحيوانية، وأهم المصادر الغذائية التي تمد الجسم بهذا العنصر هي البقوليات مثل البازلاء peas والفاصوليا beans (٣ـ٥ مجم لكل كليوجرام) واللحوم الحمراء، والدواجن والأعضاء كالكبد والكلية (٢ـ٥ مجم لكل كيلوجرام) والحبوب الكاملة (٠,٦ ـ٥ مجم لكل كيلوجرام). أما الفواكه والخضروات فإنها تعد من المصادر الفقيرة (أقل من واحد ملليجرام لكل كيلوجرام) بالموليبدنيوم.

(١٠,٨,٤) نقص الموليبدنيوم Deficiency of molybdenum

لا تعرف أعراض نقص الموليبدنيوم على الإنسان، نظرًا لأن احتياجات الجسم ضئيلة جدًا، لهذا يعارض العلماء على تصنيفه ضمن العناصر الرئيسية essential nutrient للإنسان. إلا أنه قد ظهرت أعراض نقص الموليبدنيوم على بعض الحيوانات مثل الفئران والصيصان التي تناولت أغذية فقيرة في محتواها من الموليبدنيوم في صورة أنيميا وبطء في نضج كرات الدم الحمراء وإسهال وتأخر في النمو.

(١٠,٨,٥) احتياجات الموليبدنيوم اليومية Daily requirements of molybdenum

قدرت هيئة الغذاء والتغذية الأمريكية (١٩٨٩م) الاحتياجات اليومية التي تفي بحاجة الجسم بحوالي ١٥-٤٠ ميكروجراما للرضع و ٢٥-٧٥ ميكروجراما للأطفال حتى عمر ٦ سنوات و ٥٠-١٥٠ ميكروجراما للأطفال في عمر ٧-١٠ سنوات و ٧٥-٢٥٠ ميكروجراما للمراهقين والبالغين. وتؤمن الوجبة الغذائية المتكاملة adequate diet للجسم حوالي ٠,١ - ٠,٤٦ مجم موليبدنيوم في اليوم (متوسط ٠,٣٥ مجم)، أي أنها تمد الجسم باحتياجاته اليومية من هذا العنصر.

(١٠,٨,٦) امتصاص الموليبدنيوم ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of molybdenum

يمتص الموليبدنيوم بسهولة من المعدة والأمعاء gastrointestinal tract ويخرج معظمه بصورة رئيسية مع البول، ويخرج جزء ضئيل جدًا مع البراز. ولقد وجد أن احتواء الوجبة الغذائية على كمية كبيرة من الموليبدنيوم يزيد من نسب خروج النحاس copper مع البول، وقد يصبح النحاس غير متاح بيولوجيا biologically unavailable بسبب اتحاده مع الموليبدنيوم أو الكبريتات sulphate وتكوين معقد غير قابل للذوبان. كما أن زيادة كمية الكبريتات في الوجبة الغذائية تعمل على خفض معدل امتصاص الموليبدنيوم من خلال أغشية خلايا الأمعاء، بالإضافة إلى أنها تزيد من معدل خروج الموليبدنيوم مع البول. ويعتبر ما أشير إليه آنفًا مثالاً جيدًا على العلاقة بين كل من الموليبدنيوم والنحاس وبين الموليبدنيوم والكبريتات والنحاس.

(١٠,٨,٧) تعاطي جرعات مفرطة من الموليبدنيوم Excess doses of molybdenum

يؤدي تناول جرعات كبيرة من الموليبدنيوم إلى حدوث التسمم وظهور أعراض تشبه أعراض نقص النحاس. حيث إن الموليبدنيوم يتنافس مع النحاس في عملية الامتصاص والأيض، مما يؤدي إلى تقليل استفادة الجسم منه. ولقد وجد أن تغذية الماشية cattle على مراع نامية في أراض غنية بالموليبدنيوم يؤدي إلى إصابتها بمرض يسمى الـ teart والذي تظهر أعراضه في صورة إسهال وفقدان في الوزن وهشاشة العظام brittle bones وفقدان الصبغة loss of pigmentation . كما تظهر أعراض الأنيميا بسبب انخفاض مستوى الهيموجلوبين وعدم نضج كرات الدم الحمراء. وقد اختفت أعراض التسمم من الحيوانات عند إعطائها جرعات من الكبريتات sulphate التي أدت إلى زيادة خروج الموليبدنيوم مع البول.

تتعارض زيادة تناول الموليبدنيوم مع امتصاص النحاس نتيجة عدم تكون السيريلوبلازمين ceruloplasmin (بروتين يحتوي على النحاس ويوجد في بلازما الدم) اللازم لنقل النحاس في الدم، وكذلك يسبب تشوها في العظام نتيجة تأخير نشاط إنزيمات الفوسفاتيز القلوية alkaline phosphatase اللازمة لتكوين العظام.

(١٠,٩) الكروم Chromium (Cr)

(١٠,٩,١) المقدمة Introduction

عرف الكروم في عام ١٩٥٧م عندما افترض Schwarz و Mertz وجود مركب غذائي جديد يدعي عامل تحمل الجلوكوز glucose tolerance factor (GTF) الذي يحتوي على الكروم، وفي عام ١٩٥٩م ثبتت أهميته كعنصر رئيسي للثدييات، وعرف دوره الحيوي في أيض الكربوهيدرات. ويحتوي جسم الشخص البالغ على حوالي ٥ مجم كروم، حيث يوجد بتركيزات مرتفعة في الشعر والطحال والخصيتين testes ، وكذلك بتركيزات منخفضة في القلب والبنكرياس والرئتين والمخ. ويقدر تركيز الكروم في البلازما بحوالي ٣ أجزاء في البليون (3 PPB) . ويوجد الكروم النشيط بيولوجيًا في صورة عامل تحمل الجلوكوز (GTF) ، وهو مركب عضوي يحتوي على الجليسين glycin وحمض الجلوتاميك glutamic acid والسيستيين cysteine والنياسين niacin .

(١٠,٩,٢) وظائف الكروم Functions of chromium

يمكن تلخيص وظائف الكروم الفسيولوجية في جسم الإنسان كالتالي:

١ - يلعب الكروم دورًا مهمًا في عملية أيض الكربوهيدرات، إذ تساعد الصورة النشيطة فسيولوجيا (GTF) له على نقل واتصال الأنسولين insulin مع مواقع استقباله على أغشية الخلايا، مما يساعد على امتصاص الجلوكوز وأيضه داخل الخلايا، أي يقوم الكروم بدور الكوبري الموصل بين الأنسولين ومواقع استقباله على جدار الخلية.

٢ - يحفز الكروم على تصنيع الكوليسترول cholesterol والأحماض الدهنية، كذلك فإن له دورًا بارزًا في عملية أيض الدهون.

٣ - يوجد الكروم متحدًا مع الحمض النووي RNA، لهذا قد يسهم في تصنيع البروتين.

٤ - يعمل كمنشط لعدد من الإنزيمات الضرورية لأيض الغذاء.

(١٠,٩,٣) مصادر الكروم الغذائية Dietary sources of chromium

يتوافر الكروم بنسب مختلفة في مجموعة واسعة من الأغذية الحيوانية والنباتية، وكذلك في مياه الشرب في صورة كروم ثلاثي التكافؤ trivalent chromium، وتعتبر اللحوم والحبوب الكاملة والأجبان والكبدة مصادر جيدة للكروم، بينما يعد الحليب والدقيق الأبيض والخبز والسمك والخضروات الورقية والأرز المقشور polished rice والسكر المكرر refined sugar والدقيق المكرر refined flours من المصادر الفقيرة به. وتجدر الإشارة إلى أن تكرير refining القمح الكامل يؤدي إلى إزالة معظم الكروم منه، نظرًا لأنه يكون مركزًا في الجنين germ والنخالة bran. كذلك فإن تكرير السكر يؤدي إلى انفصال الكروم منه وتركزه في مادة المولاسس molasses التي تفصل عن السكر الخام عند صناعته. وبشكل عام فإن الفواكه تمد الجسم بحوالي ٢٠ جزءًا في المليون (PPM) كروم والخضروات ٣٠-٥٥ جزءًا في المليون والحبوب والسيريل ٣٠-٧٠ جزءًا في المليون.

(١٠,٩,٤) نقص الكروم Deficiency of chromium

تظهر أعراض نقص الكروم على الشخص في حالات سوء التغذية الشديدة خصوصًا بالنسبة للأطفال، وكذلك عند الإصابة بمرض السكري وأمراض الأوعية

الدموية والقلب cardiovascular diseases . ويؤدي نقص الكروم إلى ظاهرة عدم تحمل الجلوكوز في الفئران واضطرابات في أيض الكربوهيدرات (الجلوكوز) والأحماض الأمينية والدهون وارتفاع مستوى الكوليسترول في الدم وانخفاض معدل تحول الجلوكوز إلى جليكوجين في الحيوانات. وقد أشارت بعض الدراسات إلى أن إعطاء الكروم للأشخاص المصابين بمرض السكري مع ماء الشرب كان مفيدًا لمعظمهم، إلا أن ذلك لا يعني أنه يعالج هذا المرض.

(١٠,٩,٥) احتياجات الكروم اليومية Daily requirements of chromium

لم تحدد هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي (١٩٨٩م) المقررات الغذائية الموصى بها لعنصر الكروم، إلا أنها قدرت احتياجات البالغين والمراهقين والأطفال في عمر ٧-١٠ سنوات بحوالي ٥٠-٢٠٠ ميكروجرام في اليوم والرضع بحوالي ١٠-٦٠ ميكروجراما والأطفال في عمر ١-٦ سنوات بحوالي ٢٠-١٢٠ ميكروجراما في اليوم. وتجدر الإشارة إلى أن جميع الكميات المقترح تناولها من الكروم قد وضعت على أساس أن نسبة امتصاصه تصل إلى حوالي ١-٢٪ من الكمية الكلية في الوجبة الغذائية. وبشكل عام تمد الوجبة الغذائية المتكاملة للشخص بحوالي ٥٠-١٠٠ ميكروجرام كروم أو أكثر في اليوم.

(١٠,٩,٦) امتصاص الكروم ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of chromium

تتوقف نسبة الكروم الممتصة على كميتها في الوجبة الغذائية المتناولة، فمثلاً في حالة تناول ٤٠ ميكروجراما كروم أو أكثر يوميًا فإن نسبة الامتصاص تبلغ حوالي ٠,٥٪، بينما في حالة تناول كمية أقل من ٤٠ ميكروجراما يوميًا فإن نسبة الامتصاص ترتفع إلى حوالي ٢٪ من الكروم الكلي في الوجبة الغذائية.

وتخرج معظم الكمية الممتصة من الكروم خارج الجسم مع البول. كما تقدر نسبة امتصاص الكروم غير العضوي inorganic chromium بأقل من ١٪، بينما ترتفع هذه

النسبة إلى ١٠-٢٥٪ بالنسبة للكروم الذي مصدره مستخلصات الخميرة Brewer's yeast extracts . يتضح مما سبق ذكره أن هناك عدة عوامل غير معروفة تحدد امتصاص الكروم من خلال جدار الأمعاء.

(١٠,٩,٧) تعاطي كميات مفرطة من الكروم Excess doses of chromium

لا تعرف أعراض التسمم بالكروم على الإنسان، وقد يعزى ذلك إلى انخفاض محتوى الوجبة الغذائية بهذا العنصر. كذلك لم تظهر أعراض التسمم بعنصر الكروم على الفئران والـ mice التي تناولت ماء يحتوي على ٥ مجم كروم لكل ليتر خلال فترة حياتها. كما أشارت الدراسات إلى أن تناول الفئران الأغذية التي تحتوي على ١٠٠ مجم كروم لكل كيلوجرام لم يؤدِ إلى تسممها.

(١٠,١٠) الفلور Fluorine (F1)

(١٠,١٠,١) المقدمة Introduction

اكتشف الفلور عام ١٩٠٥م عندما لاحظ جاي لوسك Gay-Lussac وجوده في جسم الحيوان، وبعد ذلك عرفت أهميته في وقاية الأسنان من التسوس بسبب ترسبه على سطح الأنامل. وفي عام ١٩٧٢م بدأ الاهتمام به كعنصر أساسي في التغذية عندما أثبتت الدراسات أن إعطاء الفئران غذاء يحتوي على الفلور يؤدي إلى زيادة في النمو وتكوين الصبغة الطبيعية في أنيابها. ويحتوي جسم الإنسان على كميات قليلة جدًا trace من الفلور الذي يتركز معظمه في العظام ومينا enamel الأسنان.

(١٠,١٠,٢) وظائف الفلور Functions of fluorine

يمكن تلخيص وظائف الفلور الفسيولوجية في جسم الإنسان كالتالي:

١ ـ يلعب الفلور دورًا رئيسيًا في وقاية الأسنان من التسوس، حيث يحدث ترسب لبلّورات crystals الهيدروكسي أباتيت ($Ca_3 P_2 O_8 . Ca (OH)_2$) التي تحتوي على

الكالسيوم والفوسفور في الأسنان والعظام أثناء عملية التكلس، بعد ذلك يحل الفلور محل مجموعة الهيدروكسيل (OH) الموجودة في البلّورات لتكوين الفلورأباتيت ($Ca_3 P_2 O_8 . Ca (F)_2$) fluorapatite الذي يجعل الأسنان أكثر قوة ومقاومة للتسوس، كما أنه يقلل من درجة ذوبان معادن الأسنان. ولقد أشارت الدراسات إلى أن إضافة أيونات الفلور إلى ماء الشرب بتركيز جزء واحد في المليون (١ مجم لكل ليتر) يؤدي إلى خفض معدل الإصابة بتسوس الأسنان للأطفال بنسبة ٥٠-٦٠٪ خصوصًا الأطفال الذين يشربون الماء المحتوي على الفلور منذ فترة الرضاعة. لهذا تقوم معظم الدول المتقدمة بإضافة الفلور إلى ماء الشرب fluoridation لوقاية أسنان الأطفال من التسوس، إلا أن الأشخاص البالغين لا يستفيدون من الفلور الموجود في ماء الشرب بسبب عدم ترسبه على أسنانهم المكتملة النمو.

٢ - يعمل الفلور على زيادة مقاومة عظام الأشخاص المسنين للإصابة بمرض لين العظام osteoporosis ، حيث أشارت الدراسات إلى أنه تندر إصابة المسنين بهذا المرض في المناطق التي تعتمد على مياه الشرب المضاف إليها الفلور fluoried water .

٣ - يثبط الفلور نشاط البكتريا المنتجة للأحماض من المواد الكربوهيدراتية في الفم، مما يقلل من تحلل الأسنان، وكذلك درجة تأثرها بهذه الأحماض. كما يمنع الفلور تكوين الأحماض في plaque الأسنان ويحفز على ترسيب الفوسفات والكالسيوم.

(٣، ١٠، ١٠) مصادر الفلور الغذائية Dietary sources of fluorine

يتوافر الفلور في مجموعة واسعة من الأغذية، وبنسب متباينة، وذلك حسب تركيزه في الماء والتربة التي ينمو فيها النبات، وتعد الأغذية البحرية seafoods والشاي والقهوة والبقوليات من المصادر الغنية به. وبشكل عام يعتبر ماء الشرب المحتوي على الفلور بتركيز جزء واحد في المليون هو المصدر الرئيسي للفلور الذي يحتاجه جسم الإنسان، إذ يمده بحوالي ١-١,٥ مجم يوميًا، بالإضافة إلى أن الأغذية المتناولة تمد الجسم بحوالي ٠,٢ - ٠,٤ مجم في اليوم. وفي حالة تعذر إضافة الفلور إلى ماء الشرب فإنه يمكن منع تسوس الأسنان لدى الأطفال بواسطة استعمال معاجين الأسنان المحتوية على الفلور toothpaste أو إضافة الفلور موضعيًا على الأسنان أو تناول حبوب الفلور fluoride tablets .

تعاطي جرعات مفرطة من الفلور Excess doses of fluorine

تؤدي زيادة متوسط تركيز الفلور في مياه الشرب على ١,٥ جزء في المليون (٢ـ٨ جزء في المليون) إلى ظهـور بقع رمادية إلى سوداء على أنامل أسنان الأطفال الدائمة يصحبها تكوين حفر في الأسنان، ويعرف هذا بالتسمم الفلوري dental fluorosis . أمـا إذا زاد تركيز الفلور في مياه الشرب على ٨ أجزاء في المليون فإن ذلك يؤدي إلى تصلب العظام والغضاريف sclerosis بسبب تراكمه فيها، مما يؤدي إلى تصلب العمود الفقري وصعوبة الانحناء وكذلك صعوبة ثني الركبة واليد. كما أن استهلاك كميات كبيرة من الفلور يعوق تكوين الكولاجين ويسبب تأخرا في ترسيب الكالسيوم على العظام.

وتظهر أعراض التسمم بالفلور على الإنسان عند تناول ٢٠ـ٨٠ مجم فلور يوميًا لعدة سنوات على شكل تسمم فلوري عظمي skeletal flurosis والذي يتميز بعظام هشة وطباشيرية سريعة الانكسار.

(٤, ١٠, ١٠) نقص الفلور Deficiency of fluorine

إن أعراض نقص الفلور لا تزال يكتنفها بعض الغموض، إلا أنه يعتقد بأن نقصه أثناء فترة الطفولة يؤدي إلى حدوث تسوس في الأسنان وإلى تقليل الإصابة بمرض لين العظام osterporosis أثناء فترة الشيخوخة.

(٥, ١٠, ١٠) احتياجات الفلور اليومية Daily requirements of fluorine

لم تحدد هيئة الغذاء والتغذية في مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي (١٩٨٩م) المقررات الموصى بها، ولكنها قدرت الاحتياجات اليومية التي تكفي لسد احتياجات الجسم وهي: ١,٠ـ١ مجم للرضـع و ٠,٥ـ٢,٥ مجم للأطفـال و ١,٥ـ٢,٥ مجم للمراهقين و ١,٥ـ٤ مجم للبالغين. ويمد ماء الشرب المضاف إليه جزء واحد في المليون فلور الجسم بحوالي ١ـ١,٥مجم فلور يوميًا، وقد تصل هذه الكمية إلى ٤ مجم عندما يزداد محتـوى الماء من الفلور أو بسبب تناول كميات كبيرة من الماء كما هو الحال في المناطق الحارة.

(١٠,١٠,٦) امتصاص الفلور ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of fluorine

يتم امتصاص الفلور من المعدة والأمعاء gastrointestinal tract حيث يمتص معظمه من خلال جدار الأمعاء الدقيقة وجزء قليل جدًا من خلال جدار المعدة، وتتراوح نسبة الامتصاص ما بين ٧٥-٩٠٪ من الكمية الموجودة في الغذاء. ثم يتجه حوالي ٥٠٪ من الفلور الممتص إلى الأسنان والعظام ليدخل في تكوينها، ويخرج الجزء الباقي مع البول عن طريق الكليتين خلال ٢٤ ساعة، وهو يقدر بحوالي ٣ مجم. ولقد وجد أن تركيز الفلور في الدم وأنسجة الجسم الطرية ثابت لا يتغير بغض النظر عن الكمية المتناولة في الوجبة الغذائية. وتنخفض نسبة امتصاص الفلور عند وجود بعض المعادن مثل الألومنيوم والكالسيوم، كما يؤثر محتوى الوجبة الغذائية من الدهون على امتصاص الفلور.

(١٠,١١) الكوبالت Cobalt (Co)

(١٠,١١,١) المقدمة Introduction

اعتبر عنصر الكوبالت من العناصر المهمة في تغذية الإنسان والحيوان في عام ١٩٤٨م عندما تم التعرف على أنه يدخل في تركيب فيتامين ب ١٢ بنسبة ٤٪. ونظرًا لأن فيتامين ب١٢ يصنع بواسطة البكتريا، فإن الكوبالت يعتبر عنصرًا أساسيًا للحيوانات خصوصًا تلك التي تعتمد كلية على البكتريا كمصدر لفيتامين ب١٢ مثل المجترات. وتقدر كمية الكوبالت في جسم الشخص البالغ بحوالي ١,٥ مجم. ولقد وجد أن نقص الكوبالت في علائق الحيوانات المجترة يؤدي إلى حدوث نقص في تصنيع فيتامين ب١٢، بالإضافة إلى فقد الشهية للأكل ونقص النمو والهزال. ويستفيد جسم الإنسان من الكوبالت الموجود في تركيب فيتامين ب١٢ فقط، لهذا لا يعتبر الكوبالت الحر ضروريًا للإنسان من الناحية التغذوية لأنه لا يستطيع الاستفادة منه في تكوين فيتامين ب١٢.

(١٠,١١,٢) وظائف الكوبالت Functions of cobalt

يمكن تلخيص الوظائف الفسيولوجية للكوبالت في جسم الإنسان كالتالي:

١ ـ يدخل في تركيب فيتامين ب١٢ الضروري للوقاية من الأنيميا ذات كرات الدم المتضخمة macrocytic anemia أو الأنيميا الخبيثة نظرًا لأن هذا الفيتامين يلعب دورًا أساسيًا في تكوين كرات الدم الحمراء.

٢ ـ يعتبر عنصر الكوبالت من العناصر الأساسية لقيام جميع الخلايا بوظائفها الحيوية خصوصًا خلايا larly cells في نخاع العظام والجهاز العصبي والجهاز الهضمي gastrointestinal system.

٣ ـ يُعد الكوبالت ضروريا لتنشيط بعض الإنزيمات المهمة مثل إنزيم الفوسفوترانسفيريز phosphotransferase.

(١٠,١١,٣) مصادر الكوبالت الغذائية Dietary sources of cobalt

وجد أن الإنسان وجميع الحيوانات ذات المعدة الواحدة لديها قدرة محدودة جدًا على تصنيع فيتامين ب١٢ في الأماكن التي يحدث فيها امتصاصه، لهذا فإنها تحصل على احتياجاتها منه من الأغذية الحيوانية وخصوصًا الكبدة والكلاوي اللتان تحتويان على حوالي ١٥,٠ـ٢٥,٠ جزء في المليون من الكوبالت على أساس الوزن الجاف. كذلك فإن لحوم الحيوانات الحمراء والأسماك والدواجن تحتوي على نصف هذه الكمية. كما تعد المحارات oysters والأصداف البحرية clams من المصادر الممتازة لعنصر الكوبالت. كذلك تعتبر الأغذية النباتية مصادر لا بأس بها لعنصر الكوبالت خصوصًا الحبوب والبقوليات والخضروات الورقية. وبشكل عام فإن تركيز الكوبالت في الأغذية النباتية يتوقف على تركيزه في التربة التي تنبت فيها هذه النباتات. ولقد وجد أن تناول الشخص لوجبة غذائية متكاملة يمده بحوالي ٣ مجم من الكوبالت في اليوم.

(١٠,١١,٤) نقص الكوبالت Deficiency of cobalt

أعراض نقص الكوبالت على الإنسان غير معروفة حتى الوقت الحديث، أما بالنسبة للحيوانات فإن نقصه يسبب إصابة الأبقار والأغنام بمرض الهزال الذي تظهر

أعراضه في صورة فقدان للشهية وهزال وقلة الحركة وأنيميا نتيجة عدم كفاية الكوبالت اللازم لتصنيع فيتامين ب١٢ بواسطة البكتريا في المعدة المركبة. ولقد أمكن معالجة هذا المرض بإعطاء الحيوانات فيتامين ب١٢. ومما تجدر الإشارة إليه أن النباتيين المتزمتين strict vegetarians يكونون أكثر عرضة للإصابة بأعراض نقص الكوبالت وخصوصًا أولئك الذين يتجنبون تناول اللحوم كلية.

(٥، ١١، ١٠) احتياجات الكوبالت اليومية Daily requirements of cobalt

لا يوجد دليل على أن الوجبة الغذائية المتكاملة تكون منخفضة في محتواها من عنصر الكوبالت، لهذا فإنه من غير الضروري تحديد مقررات غذائية RDA له. إلا أنه يعتقد أن جسم الشخص يحتاج إلى ١ ميكروجرام من الكوبالت يوميًا في صورة فيتامين ب١٢.

(٦، ١١، ١٠) امتصاص الكوبالت ونقله وتخزينه Absorption, transportation and storage of cobalt

يمتص الكوبالت بمعدلات جيدة من خلال الجزء الأوسط (الصائم) للأمعاء الدقيقة، وبصورة رئيسية كجزء تركيبي من فيتامين ب١٢، ويزداد معدل الامتصاص لدى المرضى المصابين بارتفاع مستوى الحديد iron overload وتليف الكبد البابي portal cirrhosis والهيموكروماتوسيس ذاتي العلة idiopathic hemochromatosis ، وهي حالة تنتج من امتصاص الحديد المفرط وتؤدي إلى صبغ الجلد وتخزين الهيموسيدرين hemosiderin في الكبد وبعض الأعضاء الأخرى. ويطرح الكوبالت خارج الجسم بصورة أساسية مع البول (٨٥٪) وبكميات قليلة مع البراز والعرق والشعر. ويتركز معظم الكوبالت في جسم الإنسان في الكبد وبنسب أقل في الطحال والكليتين والبنكرياس. كما تحتوي بلازما الدم blood plasma على حوالي ١ ميكروجرام كوبالت لكل ١٠٠ ملل.

(١٠ ,١١ ,٧) تعاطي جرعات مفرطة من الكوبالت Excess doses of cobalt

إن حدوث التسمم في الإنسان والحيوانات نتيجة تناول جرعات كبيرة من الكوبالت محدودة جدًا. إلا أنه تظهر بشكل واضح أعراض التسمم بهذا العنصر على الأشخاص الذين يفرطون في تناول البيرة نظرًا لأنه يضاف إليها الكوبالت كمادة مانعة للفوران antifoaming agent . كذلك تظهر أعراض التسمم على الأبقار التي تتغذى على علائق محتوية على تركيزات عالية من الكوبالت (١ مجم لكل كيلوجرام علف). وبشكل عام فإن تناول جرعات كبيرة من الكوبالت تسبب الآتي: (١) زيادة في عدد وتركيز كرات الدم الحمراء polycythemia بسبب زيادة إفراز هرمون erythropoitin الضروري لتصنيع كرات الدم الحمراء erythropoiesis في نخاع العظام، (٢) فرط الاستنساخ (تكاثر أنسجة الخلايا على نحو غير سوى) hyperplasia في نخاع العظام، (٣) تيكليوسيتوسس ticulocytosis ، (٤) زيادة حجم الدم، (٥) اضطراب في وظائف القلب، (٦) تضخم الغدة الدرقية، إلا أن هذه النقطة تحتاج إلى مزيد من البحث.

(١٠ ,١٢) الفانيديوم Vanadium (V)

تحتوي بعض أنسجة الإنسان والحيوان على نسب قليلة جدًا من الفانيديوم خصوصًا الكبد والعظام، وقد أثبتت بعض الدراسات الحديثة أنه عنصر أساسي للإنسان. وقد أشار العالمان هوبكنز Hopkins وموز Mohr إلى أن الفانيديوم يلعب دورًا مهمًا بالنسبة لأيض الدهون في الإنسان. كما أن هناك دورًا آخر للفانيديوم في منع تسوس الأسنان، حيث يحل محل الفوسفور في تكوين ملح الأباتيت المسؤول عن إعطاء الصلابة للأسنان وزيادة مقاومتها للتسوس والنخر. كما يؤدي هذا العنصر نفس الدور السابق ذكره بالنسبة للعظام، مما يعمل على تقويتها وزيادة صلابتها.

يتوافر الفانيديوم بنسب منخفضة في معظم الأغذية الحيوانية والنباتية وتزود الوجبة الغذائية المتكاملة جسم الإنسان بحوالي ٢٥ ميكروجراما في اليوم. يؤدي نقص الفانيديوم في صيصان الدجاج إلى بطء في النمو وضعف في التكاثر واضطراب في أيض الدهون وتشوهات في العظام وضعف في نمو الريش ونقص في مستوى الكوليسترول. كما يؤدي نقصه في الفئران إلى ضعف في النمو والتكاثر والأداء الجنسي وارتفاع معدل

الوفيات بين المواليد. وتجدر الإشارة إلى أنه لا تتوافر معلومات كثيرة عن محتوى الأغذية من الفانيديوم، كما تقدر الاحتياجات اليومية منه بحوالي ٣, ٠ مجم. يخزن حوالي ٤٠٪ من الفانيديوم الممتص من خلال جدار الأمعاء في الكبد والعظام والباقي (٦٠٪) يخرج من الجسم مع البول.

(١٠, ١٣) القصدير Tin (Sn)

كان الاعتقاد السائد حتى وقت قريب أن وجود القصدير في الأنسجة الحيوانية يعود إلى التلوث البيئي، إلا أن العالم Schwarz وزملاءه Colleagues في عام ١٩٧٠م استطاعوا أن يثبتوا أن إعطاء الفئران وجبات غذائية تحتوي على جزء واحد في المليون (1PPM) من كبريتات القصدير stannic sulphate يترتب عليه زيادة في معدل نموها، بينما يسبب إعطاء الفئران وجبات غذائية فقيرة في محتواها من القصدير بطئا وتأخرا في النمو والتهابا في الجلد وتساقطا في الشعر، وقد يكون للقصدير دور مهم بالنسبة لنمو الإنسان. لا يوجد حديثًا معلومات كافية عن محتوى الأغذية من القصدير، إلا أن نسبة كبيرة منه توجد في مستخلص الدهون التجارية. كذلك لا تعرف أعراض التسمم بالقصدير على الإنسان نظرًا لصعوبة امتصاصه من خلال جدار الأمعاء، وخروج معظمه خارج الجسم مع البراز. يدخل القصدير في تركيب العلب الصفيح المستعملة لحفظ الأغذية، لهذا ففي حالة تعليب المواد الغذائية الحامضية مثل الفواكه وعصائر الحمضيات تطلي العلب الصفيح من الداخل بطبقة ورنيشية lacquer تمنع اتصال الغذاء بالقصدير، مما يقلل تلوث الغذاء به. وتقدر كمية القصدير في الوجبة الغذائية التي يتناولها الإنسان يوميًا بحوالي ٣,٥-١٧ مجم، والحد الأعلى المسموح به في الأغذية المعلبة هو ٢٥٠ مجم لكل كيلوجرام. ويعتقد أن الإنسان يحتاج يوميًا إلى حوالي ٣-٦ مجم قصدير، وتحتاج الفئران إلى ٢, ١-٢ جزء في المليون.

(١٠, ١٤) النيكل Nickle (Ni)

يوجد النيكل بكميات قليلة جدًا في أنسجة الجسم المختلفة خصوصًا الدم والرئة والأسنان والعظام والكليتين والبنكرياس والجلد وشريان الأورطي aorta . يستعمل

النيكل على نطاق واسع لتبطين أوعية الطهو وأجهزة البسترة، إلا أن ذلك لا يؤدي إلى حدوث تسمم للإنسان. ولقد أشارت الدراسات إلى أن النيكل عنصر أساسي للفئران وصيصان الدجاج، حيث يعمل على تنشيط بعض الهرمونات والنظم الإنزيمية. ويؤدي نقص النيكل في الحيوانات إلى تغيرات في الكبد وضعف في التكاثر. وتعد الحبوب والخضروات من المصادر الغنية بالنيكل، بينما تعتبر الأغذية الحيوانية من المصادر الفقيرة به. لهذا فإن الوجبة الغذائية الغنية بالأغذية الحيوانية والدهون تكون فقيرة في محتواها من النيكل.

(١٠, ١٥) السليكون Silicon (Si)

كان الاعتقاد السائد حتى وقت قريب أن السيلكون من الملوثات البيئية السامة للإنسان، ولكن في سنة ١٩٧٢ أثبت Schwarz أن إعطاء الفئران جرعات من السليكون يؤدي إلى زيادة في معدلات نموها. وتحتوي غضاريف الإنسان human car-tilages على تركيزات عالية من السليكون المرتبط في صورة كبريتات الكوندرويتين chondroitin sulphate وكبريتات الكيراتين keratin sulphate . ويقدر تركيز السليكون في الدم بحوالي ٥ مجم لكل ١٠٠ ملل. ويتعرض عادة عمال المناجم إلى استنشاق كميات كبيرة من السليكون، مما يؤدي إلى تسممهم به silicosis . وبشكل عام يعتبر السليكون عنصرًا أساسيًا لنمو الفئران والدواجن وربما الإنسان، بالإضافة إلى ذلك فإنه يلعب دورًا مهمًا بالنسبة لتكلس العظام. ولقد أشارت بعض الدراسات الحديثة إلى أن السليكون يدخل في تركيب الأنسجة الضامة connective tissue والغضاريف، مما يدعم هذه الأنسجة ويثبت أو يرسخ الكربوهيدرات المخاطية المتعددة mucopolysaccharids . يتميز السليكون بأنه ضعيف الذوبان في الماء، لهذا يصعب امتصاصه في الجهاز الهضمي، وتستعمل بعض أملاح السليكون مثل سليكات الألومنيوم وثلاثي سليكات المغنسيوم في معالجة حالات الإسهال وحموضة المعدة على التوالي. وبشكل عام فإن الأغذية الحيوانية تعتبر فقيرة في محتواها من السليكون، بينما الأغذية النباتية خصوصًا الحبوب غير المكررة unrefined grains تعد مصادر غنية به.

كذلك تعتبر البيرة من أغنى المصادر بعنصر السليكون، حيث يقدر تركيزه فيها بحوالي ١٢٠٠ ميكروجرام لكل جرام. يؤدي نقص السلبكون في الحيوانات إلى تشوهات في الغضاريف والأنسجة الرابطة والعظام وضعف النمو وترسب السليكون في الكليتين والحالب أو المثانة، مما يسبب الحصاة الكلوية.

(١٠,١٦) الزرنيخ Arsenic (As)

يتوافر الزرنيخ بنسب قليلة جدًا في سوائل وأنسجة الجسم خصوصًا الأظافر والشعر والجلد، وهو عنصر أساسي بالنسبة للحيوانات، ويوجد الزرنيخ في الماء والتربة وبعض النباتات والأغذية الحيوانية، وتعتبر المحاريات shellfish من أغنى المصادر به. ويترتب على نقص الزرنيخ في صيصان الدجاج ظهور ضعف في الرجلين وبطء في النمو وزيادة في معدل راسب الدم hematocrit ونقص في حمض اليوريك، أما بالنسبة للفئران فإن نقصه يؤدي إلى ضعف في النشاط الجنسي والنمو وتخشن في الجلد وزيادة في معدل وفيات الأجنة.