

## أسباب وأعراض نقص فيتامين د عند الإنسان

عبد الكريم كاملي

أستاذ بقسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

[abdelkrim.kameli@g.ens-kouba.dz](mailto:abdelkrim.kameli@g.ens-kouba.dz)

### مقدمة

تُعدّ الفيتامينات من المركّبات الضرورية التي يحتاجها جسم الإنسان بكميات ضئيلة لضمان سير وظائفه الحيوية، ويُشكّل الغذاء المصدر الرئيسي لها؛ نظرًا إلى عجز الجسم عن تصنيع معظمها. للفيتامينات دور في مختلف الوظائف الحيوية، من تحسين المناعة والنمو إلى تنظيم الأيض وحفظ التوازن الداخلي. ورغم هذا الدور الحيوي، فإن نقص الفيتامينات بات من المشكلات الصحية العالمية المعاصرة، مما يثير تساؤلات حول العلاقة بين التغذية غير المتوازنة وانتشار حالات العوز الفيتاميني بين الأفراد. من بين جميع الفيتامينات، يبرز فيتامين د (D) بخصوصيته الفريدة، كونه فيتامينًا وهُرمونًا في آن واحد، إذ يصنعه الجسم ذاتيًا عند تعرّض الجلد للأشعة فوق البنفسجية من الشمس. ورغم هذه القدرة الذاتية، يلاحظ انتشار ظاهرة نقص الفيتامين د في العديد من مناطق العالم، ما يُثير تساؤلات حول الأسباب الكامنة وراء هذا النقص. يكتسب نقص فيتامين د أهمية خاصة، خصوصًا في الجزائر التي تُعدّ من البلدان المشمسة معظم أيام السنة، ونظرًا إلى الأهمية البالغة التي تحتلها الفيتامينات عمومًا، وفيتامين د خصوصًا، في الحفاظ على صحة الإنسان ودعم وظائفه الحيوية، جاءت فكرة إنجاز مذكرة تخرج خلال السنة الجامعية 2025/2024، ثم نشر أهم ما ورد فيها في شكل مقالين لمحاولة الإجابة عن الأسئلة التالية:

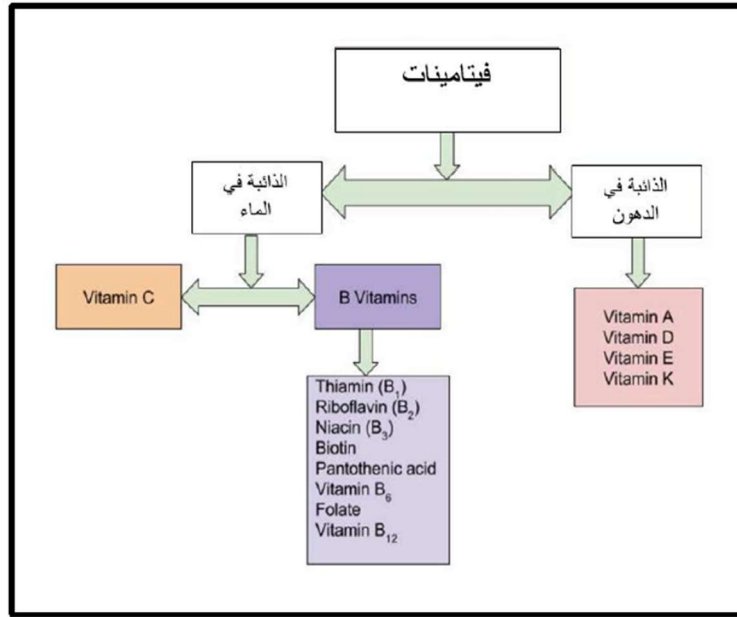
- ما هي الأسباب الحقيقية وراء نقص فيتامين د في مناطق كثيرة في العالم وفي الجزائر رغم وفرة أشعة الشمس؟
- ما هي العوامل الغذائية والسلوكية التي تؤثر على مستويات فيتامين د؟
- ما أعراض ونتائج نقص فيتامين د على صحة الإنسان؟
- وما السبل المثلى للوقاية والعلاج من هذا النقص؟

تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن هذه التساؤلات عبر التعرف على الفيتامينات بصورة عامة، وفيتامين د بصورة خاصة، وأنواعه ومصادره الغذائية وطريقة تخزينه في المقال الأول؛ وتحليل أسباب وأعراض نقص فيتامين د وعلاقته بالغذاء، مع التركيز على الوضع في الجزائر واستكشاف مدى خطورة هذا النقص على الصحة العامة، بالإضافة إلى تقديم الحلول الممكنة والتوصيات للحد من انتشاره في المقال الثاني.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي حيث تم تقديم عرض شامل للمفاهيم العلمية المتعلقة بالفيتامينات عامة، وبفيتامين د خاصة، من خلال مراجعة المصادر والدراسات الحديثة. أما في الجانب التطبيقي، فتم استخدام دراسة إحصائية مبنية على بيانات جاهزة مستخلصة من أحد مخابر التحاليل الطبية، وذلك لتحليل معدلات نقص فيتامين د في الجزائر، وتفسير أسبابه، واستنباط التوصيات المناسبة لمعالجته.

### 1. تصنيف الفيتامينات

هناك 13 نوعاً من الفيتامينات لكل منها أدوار ووظائف متعددة في الجسم. يشير التصنيف الأبجدي للفيتامينات إلى التسلسل الزمني لاكتشافها. ومع ذلك، فإن الملاحظة اللاحقة بأن مجموعة الفيتامين ب (B) تتكون من مركبات متعددة، أدت إلى ظهور تسمية أجدية رقمية (ب1، ب2، ...). ترجع الفجوات في الترقيم إلى إزالة العديد من المواد التي وُصفت في البداية بأنها فيتامينات، أو لكونها مكتشفة ومسماة مسبقاً. استُخدمت فيما بعد أسماء تعتمد على التركيب الكيميائي للفيتامين أو مصدره الغذائي أو دوره، مع الاحتفاظ بالأحرف اللاتينية الشائعة [1]، [5]. يتم تصنيف الفيتامينات على أساس خاصية الذوبان إلى مجموعتين: فيتامينات قابلة للذوبان في الماء، وفيتامينات قابلة للذوبان في الدهون، كما يوضحه الشكل 1 [9].



الشكل 1. مخطط تصنيف الفيتامينات [9]

### 2. تعريف الفيتامين د

الفيتامين د هو أحد الفيتامينات الأربعة الذائبة في الدهون، ينتمي إلى مجموعة Seco-steroid (جزء ستيرويد ذو حلقة واحدة مفتوحة). وهو جزيء قليل الحساسية للأكسدة والحموضة والحرارة إلى غاية 38°C، وحساس للضوء والرطوبة، وحتى التعرض المستمر للأشعة فوق البنفسجية التي قد تؤدي إلى تحلله [3]، [15]. مصطلح فيتامين الذي يعني "أمين حيوي" بالعربية، هو في الحقيقة مصطلح غير مناسب إلى حد كبير للفيتامين د، حيث يمكن للجلد انطلاقاً من الكولسترول، تصنيع الفيتامين د تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية (UVB)، وهو المصدر الطبيعي الرئيسي لهذا الفيتامين. ولذلك يسمى فيتامين د أحياناً "فيتامين أشعة الشمس". وقد كشفت الأبحاث المنشورة في النصف الثاني من القرن العشرين أن فيتامين د هو في حقيقة الأمر هرمون أولي (Prohormone) وليس فقط فيتاميناً، كون خصائصه تتوافق كذلك مع خصائص الهرمونات [4].

### 3. أنواع الفيتامين

يتواجد فيتامين د في عدة صور (من د1 إلى د5)، نختصر أهمها في شكلين رئيسيين هما:

- كوليكالسيفيرول (cholecalciferol (vitamin D3)

• وإرغوكالسيفيرول (ergocalciferol (vitamin D2

لكلا النوعين من فيتامين د بنية ستيرويدية أساسية، مما يعني أنهما يشتركان في نواة واحدة، ويختلفان فقط في نوع الستيروول المشتق منه [12].

فيتامين كوليالكالسيفيرول (د3) المشتق من الستيروول الحيواني كوليستيروول (Cholesterol)، يُعدّ فريدًا من نوعه لأنه يمكن توفيره انطلاقًا من الجلد من خلال التعرض لأشعة الشمس. عادة ما يكون إنتاج الجلد هو المصدر الرئيسي للفيتامين د3 في الجسم. ومع ذلك، في البلدان التي لا تتلقى تعرضًا كافيًا لأشعة الشمس، يعتمد الناس على المنتجات الغذائية الحيوانية كمصدر غذائي أساسي للفيتامين د3 الطبيعي. يضمن هذا المصدر المزدوج الحفاظ على مستويات كافية من فيتامين د3 في الجسم [1]، [6].

فيتامين إرغوكالسيفيرول (د2) مشتق من الستيروول النباتي الإرغوستيروول (ergosterol)، وهو صورة مأخوذة من المصادر النباتية، حيث تصنعه الفطريات والخمائر [1]. من حيث النشاط البيولوجي، فإن فيتامين د2 يساوي ثلث قوة فيتامين د3، أي إنه أقل فعالية من الناحية الطبية، مما يجعل فيتامين د3 هو العامل المفضل للاستخدام الطبي للجسم كدواء أو كمكمل غذائي [4].

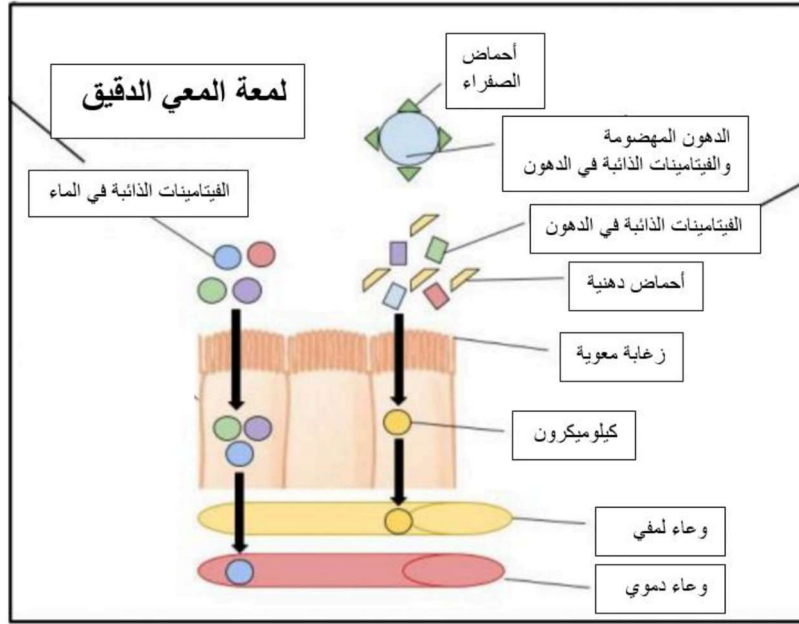
#### 4. امتصاص الفيتامينات

##### أ- امتصاص الفيتامينات الذائبة في الماء

يتم امتصاص الفيتامينات القابلة للذوبان في الماء مباشرة من الأمعاء الدقيقة إلى مجرى الدم وبشكل مستقل عن الدهون الغذائية كما يظهر هذا في الشكل 2. تتراوح نسبة امتصاص الفيتامينات الذائبة في الماء عادة من 90% إلى 100% [7]، [9].

##### ب- امتصاص الفيتامينات الذائبة في الدهون

يتم امتصاص الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون من الأمعاء الدقيقة جنبًا إلى جنب مع الأحماض الدهنية ويتم نقلها في شكل كيلوميكرون عبر الجهاز اللمفاوي إلى مجرى الدم ثم إلى الكبد، كما يظهر في الشكل 2. يعتمد التوفر البيولوجي (أي الكمية التي يتم امتصاصها) من هذه الفيتامينات على مكونات الغذاء في النظام الغذائي. نظرًا إلى أن الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون يتم امتصاصها مع الدهون الغذائية. قد يضعف امتصاص الفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون إذا كانت الوجبة منخفضة جدًا في الدهون [9]. إن الامتصاص الكافي للفيتامينات القابلة للذوبان في الدهون يعتمد على الاستخدام الفعال للأملاح الصفراء والليباز البنكرياسي في الأمعاء الدقيقة لهضم الدهون الغذائية، وكذلك القدرة الاستيعابية الكافية للغشاء المخاطي في الأمعاء. وفي ظل الظروف المثلى، يتم امتصاص هذه الفيتامينات من 40% إلى 90% [7]. بعض الفيتامينات، مثل الفيتامين ك (K) والفيتامين ب12 (B12)، يمكن تصنيعها من قبل بكتيريا الأمعاء، والتي يمكن امتصاصها كذلك، مما قد يعوّض بعض النقص فيها من الغذاء [7].



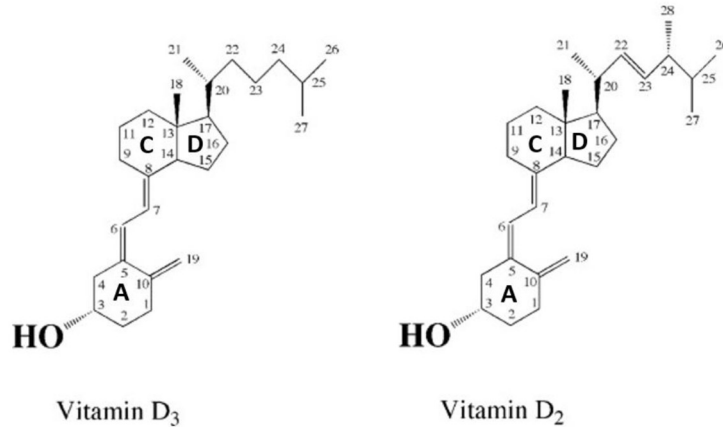
الشكل 2. امتصاص الفيتامينات الذائبة في الماء والذائبة في الدهون [9]

### 5. البنية الكيميائية للفيتامين د

فيتامين د هو عبارة عن سيكوستيرويد بنيوي من نوع cyclopentano-perhydrop henanthrene، مع رابطة كربون-كربون بين الذرتين 9 و10 مكسورة في الحلقة B من نواة الستيروول. ويتم الإشارة إلى ذلك من خلال إضافة المقطع "9,10-seco" في التسمية العلمية [4]، [20]، [21].

يتكون الهيكل البنيوي للفيتامين د من ثلاث حلقات يُرمز لها بالأحرف A و C و D (الشكل 3)، مرتبطة بسلسلة أليفاتية غير مشبعة. الترتيب المحدد للذرات داخل هذه الحلقات، وخاصة مجموعة الهيدروكسيل (OH)، يعطي للفيتامين د شكله المميز. تضم البنية الكيميائية سلسلة جانبية أليفاتية مرتبطة بالحلقة D، والتي تختلف في الطول والبنية، حيث يبلغ طولها تسع ذرات كربون في الفيتامين د2 أو ثماني ذرات كربون في الفيتامين د3.

يختلف النوعان في وجود مجموعة ميثيل إضافية عند C24، ورابطة مزدوجة بين C22 و C23 في فيتامين د2. ولا تؤثر هذه الاختلافات البنيوية بين النوعين على عملية التمثيل الغذائي (المتابوليزم) أو عملية التنشيط، ويعمل كلا الشكلين كهرمونات أولية Prohormones [23].



الشكل 3. البنية الجزيئية للفيتامين د2 و د3 [23]

## 6. مصادر فيتامين د

### أ- المصادر الخارجية (الغذاء)

يتواجد الفيتامين D في شكله الطبيعي في عدد قليل من الأغذية، وبكميات قليلة مقارنة بالاحتياج اليومي للجسم، بينما يتم تصنيع معظم هذا الفيتامين عن طريق التعرض لأشعة الشمس [8]. المصادر الغذائية نوعان:

- فيتامين د2 (إرغوكالسيفيرول) الموجود في المصادر الغذائية النباتية،
- وفيتامين د3 (كوليكالسيفيرول) الموجود في المصادر الغذائية الحيوانية [8].

تركز المصادر الغذائية للفيتامين د بشكل رئيسي في الأسماك الزيتية، وخاصة كبد سمك القد الذي كان يستخدم سابقاً كدواء لعلاج الكساح، كما يمكن العثور على الفيتامين بكميات أقل في كبد الحيوانات وصفار البيض والجبن والفطر. يحتوي 100 غرام من سمك السلمون المطبوخ على حوالي 348 وحدة دولية (UI) من فيتامين د [8].

الجدول 1: القيم التقديرية لمحتوى فيتامين د في بعض الأطعمة بالاعتماد على بيانات CIQUAL [14]

الطعام	نسبة الفيتامين د (وحدة دولية/100غ)
زيت كبد سمك القد	10000
كبد سمك القد مغلي، مصفى	2172
سمك السلمون المرقط المشوي	440
سمك السلمون المطبوخ على البخار	348
سردين معلب في الزيت، مصفى	285
تونة معلبة بشكل طبيعي، مصفاة	194
سمك السلمون المدخن	119
كبد الدجاج أو البط المسمن	110
كبد العجل المطبوخ	101
جبن إمنتال	72
بيض نبي	60

### ب- المصادر الداخلية

يتم تصنيع معظم فيتامين د3 من خلال سلسلة من التفاعلات التي تحدث عند تعرض الجلد للأشعة فوق البنفسجية (ب) UVB، لكن خلال فصلي الخريف والشتاء تقل كفاءة خلايا الجلد في إنتاج فيتامين د بسبب نقص الأشعة فوق البنفسجية (ب) [16]. يُعدّ التعرض لأشعة الشمس المصدر الرئيسي للتركيب الحيوي للفيتامين د، حيث يمكن أن يوفر التعرض المباشر لأشعة الشمس لمدة تتراوح بين 5 إلى 10 دقائق على الذراعين والساقين حوالي 3000 وحدة دولية (UI) من الفيتامين د3. في غالب الأحيان، يكون إنتاج الفيتامين د أعلى خلال أشهر الصيف (جوان، جويلية، أوت)، بينما ينخفض بشكل ملحوظ بين نوفمبر ومارس وذلك بسبب نقص الأشعة فوق البنفسجية في فصل الشتاء نتيجة للغيوم المتراكمة.

## 7. العوامل المؤثرة في التركيب الحيوي لفيتامين د

توجد العديد من العوامل التي تؤثر في عملية التركيب الحيوي لفيتامين د، نذكر من بينها:

- ارتداء الملابس،
- استعمال المراهم والمواد الواقية من أشعة الشمس،
- العمر،
- لون البشرة،
- الحمل والرضاعة الطبيعية،
- التلوث الجوي،
- الموسم،
- خط العرض،
- الوقت من اليوم.

## 8. نقل فيتامين د

يختلف التوافر البيولوجي (bioavailability) ونقل فيتامين د إلى مجرى الدم حسب مصدره الداخلي أو الخارجي.

### أ- المصدر الخارجي

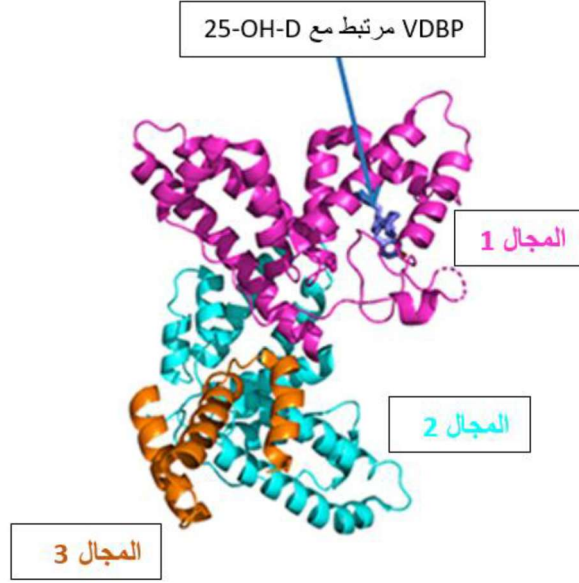
يتم امتصاص الفيتامينين د2 ود3 خارجي المصدر الموجودين في الأغذية أو في المكملات الغذائية، في الأمعاء الدقيقة جنباً إلى جنب مع القطرات الدهنية نتيجة لطبيعتها الستيرويدية، ثم يتم دمجها في الكيلوميكرون والبروتينات الدهنية منخفضة الكثافة جداً (VLDLs) التي تنقلها عبر الجهاز اللمفاوي إلى مجرى الدم [15]. كان يُعتقد لفترة طويلة أن الامتصاص يتم بشكل غير فعال، ولكن أشارت الأبحاث الحديثة إلى وجود ناقلات للكوليسترول تشارك في العملية، مثل CD36، NPC1L1، SR-B1، مما أثبت وجود النقل الفعال. يُعتقد حالياً أن كلا المسارين (الفعال وغير الفعال) يلعبان دوراً في الامتصاص، حيث يزداد النقل غير الفعال مع الجرعات العالية، بينما يكون النقل الفعال أكثر أهمية عند المستويات المنخفضة [2]، [18].

### ب- المصدر الداخلي

يتم عند الإنسان نقل فيتامين د3 المركب في الجلد، ذو الطبيعة الكارهة للماء، في البلازما مثل بقية الستيرويدات، مرتبطاً مع البروتينات، وبشكل أساسي عن طريق البروتين الرابط للفيتامين د والمعروف بـ VDBP أو (vitamin D binding protein)، والمسعى أحياناً باسم ترانسكالسيفيرين (Transcalciferin) أو Gc-globulin، حيث يتميز هذا البروتين الناقل بألفة عالية للارتباط بالفيتامين بنسبة تقارب 85%، في حين أن الفيتامين يرتبط بدرجة أقل مع البروتينات الدهنية والألبومين التي لها ألفة منخفضة للارتباط بنسبة لا تتجاوز 15% [10]، [11].

## 9. بنية البروتين الرابط للفيتامين د

يتم تصنيع VDBP بواسطة الكبد، وله دور ربط ونقل فيتامين د ومستقبلاته إلى الأعضاء المستهدفة. تنتمي مورثة VDBP إلى نفس عائلة المورثات المشفرة للألبومين والبروتين الجنيني ( $\alpha$ -fetoprotein) والأفامين (afamin). وهو عبارة عن غلوبولين  $\alpha$  سكري (جليكوبروتين) غني بالسيسيتين مكون من 458 حمضاً أمينياً، بوزن جزيئي يتراوح بين 55 و58 كيلو دالتون. يحتوي على ثلاثة مجالات حلزونية  $\alpha$  متجانسة (الشكل 4)، ومتوفر بعدة صور بسبب الاختلافات في كل من التركيب الأساسي للبروتين (بما في ذلك وجود أو غياب حمض N-acetylneuraminic على الثريونين في الموضع 420) والجزء السكري الذي يضاف بعد الترجمة [11].



الشكل 4. البنية الفراغية للبروتين الرابط لفيتامين د

### 10. تخزين الفيتامين د

فيتامين د هو أحد الفيتامينات الأربعة القابلة للذوبان في الدهون، ويختلف في طريقة تخزينه عن الفيتامينات الأخرى بأنه لا يتم تخزينه بشكل رئيسي في الكبد، بل يُخزّن أساساً في الأنسجة الدهنية على شكل كوليالكالسيفيرول (vitamin D3)، وفي العضلات والأنسجة الأخرى على شكل 25-OH-D. يمثل كوليالكالسيفيرول (vitamin D3) حوالي 65% من إجمالي فيتامين د في الجسم، حيث يُخزّن 75% منه في الأنسجة الدهنية. بينما يمثل 25-OH-D حوالي 35% من إجمالي الفيتامين، ويتوزع بشكل أوسع في عدة أنسجة (20% في العضلات، و30% في المصل، و35% في الأنسجة الدهنية، و15% في الأنسجة الأخرى). يُعدّ قياس مستوى 25-OH-D مهماً لتقدير حالة الجسم من الفيتامين د، حيث يعكس مخزونته. تجدر الإشارة إلى أن تناول جرعات كبيرة من الفيتامين د، خاصةً في صورته الاصطناعية، قد يؤدي إلى استبدال الفيتامين الطبيعي ومنع امتصاصه بشكل فعال. لذا فإن فهم كيفية توزيع وتخزين الفيتامين د أمر أساسي لضمان الحصول على الكمية المناسبة منه، خاصةً خلال فترات انخفاض التعرض لأشعة الشمس، مثل فصل الشتاء [17].

### 11. سمّية الفيتامين د

وفقاً للأكاديمية الوطنية الأمريكية للطب، فإن التسمم بفيتامين د في صورة (25-OH-D) يكون بتركيز أعلى من 250 نانومول/لتر (100 نانوغرام/لتر). وللإشارة، فإن هناك نقصاً في الدراسات السريرية حول التحمّل طويل المدى (عدة أشهر أو سنوات) للتركيز العالية [20].

تؤدي التركيز العالية جداً من فيتامين د في الجسم إلى فرط كالسيوم الدم (hypercalcemia) الذي يمكن أن يتميز بشكل خاص بظهور عدة أعراض، من بينها: فقدان الشهية والغثيان، والبوال، والإمساك، والتعب، وفقدان الوزن، والصداع، والاكتئاب، والتكلس الكلوي والدموي، وارتفاع ضغط الدم، وفقر الدم. أثناء التسمم الشديد، يمكن أن يؤدي فرط كالسيوم الدم إلى فشل كلوي لا رجعة فيه، وفشل القلب الذي يمكن أن يؤدي إلى الغيبوبة والموت [19]. [20]

## 12. وظائف الفيتامين د

يُعدّ الفيتامين د عنصراً غذائياً أساسياً له دور ثابت تاريخياً في عملية تمعدن العظام والحفاظ على التوازن الفوسفوكالسيومي في الجسم. يؤثر الكالسيتريول (1,25-(OH)<sub>2</sub>-D) على الأمعاء والكلية والغدد الجار درقية، بالإضافة إلى تأثيره المباشر على العظام [13].

### أ- على مستوى الأمعاء

يساهم 1,25-(OH)<sub>2</sub>-D في زيادة امتصاص الأمعاء للكالسيوم الغذائي بشكل رئيسي، والفسفور بشكل ثانوي [16]، بحيث تم تحديد موقعين للعمل:

- على الحدود الفرشية للخلايا المعوية (brush border): يزيد هذا الهرمون من تركيب ناقل الكالسيوم المعروف بـ (CaT1)، وهي الطريقة الرئيسية لامتصاص الكالسيوم في الأمعاء [22].
- على مستوى خلايا الأمعاء: يزيد من تصنيع بروتين الكالبيدين (Calbindin)، الذي يعزز نقل الكالسيوم عكس تدرج التركيز بين الخلايا المعوية والبلازما، مما يؤدي إلى الانتشار السلي لأيونات الفوسفات [22].

### ب- على مستوى الغدد الجار درقية

تعمل الغدد الجار درقية على مراقبة مستويات الكالسيوم في الدم، فعند انخفاض مستويات الكالسيوم يزداد إفراز هرمون PTH لتعويض هذا النقص. ومن جهة أخرى، يعمل الكالسيتريول (الشكل النشط للفيتامين د) دوراً هاماً في تنظيم هذه العملية حيث يساهم في تقليل إنتاج هرمون PTH ويمنع نمو خلايا الغدد الجار درقية، كما يعمل على تنظيم عدد مستقبلات الفيتامين د (VDR) في هذه الخلايا، مما يزيد من استجابتها لتغيرات الكالسيوم [13].

### ج- على مستوى العظام

يساهم الشكل النشط للفيتامين د (1,25-(OH)<sub>2</sub>-D) في الحفاظ على صحة العظام من خلال تحفيز تمايز الخلايا البانية للعظم Osteoblastes، وإنتاج العديد من بروتينات الوسط خارج خلوي، بما في ذلك النوع الأول من الكولاجين (type I collagen)، وأوستيوبونتين (osteopontin)، وأوستيوكالسين (osteocalcin)، وهي ضرورية لتكوين العظام والحفاظ على قوتها. كذلك تنظيم عملية ارتشاف العظم من خلال تحفيز نشاط الخلايا الهادمة للعظم (osteoclasts)، وذلك بهدف تحرير الكالسيوم والفوسفات وإعادة امتصاصها عند الحاجة لضمان توازن المعادن [14]، [16].

### د- على مستوى الكلى

يزيد الفيتامين د من إعادة الامتصاص الأنبوبي للكالسيوم عن طريق العمل المباشر على قناة الكالسيوم الظهارية (Epithelial Calcium Channel -ECaC). كما أن تأثيره المحفز على إعادة امتصاص الفوسفات الأنبوبي هو تأثير ثانوي لتثبيط إفراز هرمون الغدة الدرقية الناتج عن فرط كالسيوم الدم المرتبط بالإعطاء المفرط للفيتامين د [13].

### هـ- على مستوى المناعة

استُخدم الفيتامين د لعلاج العدوى، مثل العدوى بالبكتيريا المسببة لمرض السل، قبل ظهور المضادات الحيوية الفعالة، حيث اكتُشفت قدرة الفيتامين د على تحفيز التعبير الجيني لبروتينات قاتلة للبكتيريا، مثل بروتين الكاتيليسيدين (Cathelicidin) وبيتا ديفونسين 4 (β-defensin 4).

يعمل فيتامين د على تحسين وظيفة الجهاز المناعي من خلال تحفيز تمايز الخلايا وحيدة النواة إلى خلايا بلعمية، وتحريض عملية البلعمة وإنتاج الإنزيمات الليزوزومية، بالإضافة إلى تأثيره على الاستجابة الالتهابية من خلال التقليل من تكاثر الخلايا التائية وتحويل النمط الالتهابي Th1 إلى النمط المضاد الالتهاب Th2. ويقلل كذلك من الخلايا Th17 المرتبطة بالاستجابات الالتهابية، في حين يعزز من إنتاج الخلايا التائية المنظمة (Treg) التي تساهم في

التوازن المناعي ومنع فرط النشاط. علاوة على ذلك، يقلل الفيتامين د من إنتاج السيتوكينات الالتهابية مثل IL-17 و IL-21 و TNF $\alpha$ ، ويزيد من إنتاج IL-10 المضاد للالتهاب.

## المراجع

- [1] كاملي، أساسيات الكيمياء الحيوية: الكيمياء الحيوية التركيبية، دار هومة، الجزائر، 2016.
- [2] وزارة الداخلية والجماعات المحلية والتهيئة العمرانية، السكان والتشغيل: ولاية الشلف، 2021.
- [3] Al-Baitai, A. Y., Abdul-Hussein, M. J., & Alwan, S. H. The effect of temperature and storage time on the concentration of vitamin D in human serum. *Systematic Review Pharmacy*, 11(4), 2020, 142–146.
- [4] Azizova, U. H., Baghirova, S. A., Rahimova, R. R., & Dashdamirova, G. S. Vitamin D: Structure and mechanism of action. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, 9(3), 2022, 36–41.
- [5] Bender, D. A. *Nutritional Biochemistry of the Vitamins*. Cambridge University Press, 2003.
- [6] Bendik, I., Bürgi, W., Dörig, R., & Weber, P. Vitamin D: A critical and essential micronutrient for human health. *Frontiers in Physiology*, 5, Article 248, 2014, 1–2.
- [7] Byrd-Bredbenner, C., Beshgetoor, D., Moe, G. & Berning, J. *Wardlaw's Perspectives in Nutrition*. McGraw-Hill Companies, 2009.
- [8] Cadeau, C. *Prise de complément en vitamine D ou C et risque de cancer du sein dans la cohorte E3N*. Thèse de doctorat, spécialité santé publique-épidémiologie, Université Paris-Saclay, 2016.
- [9] Callahan, A., Leonard, H., & Powell, T. *Nutrition: Science and Everyday Application*. Open Oregon Educational Resources, 2020.
- [10] Catherine, H. *La vitamine D vue à travers le prisme du Marmandais*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux, 2016. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01452274v1>
- [11] Combs, G. F., Jr. *The vitamins: Fundamental aspects in nutrition and health*. Academic Press-Elsevier, 2012.
- [12] García-Domínguez, M., Gutiérrez-del-Río, I., Villar, C. J., & Lombó, F. *Structural diversification of vitamin D using microbial biotransformations*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 108, 2024, 409.
- [13] Lahalle, P. *Évolution des recommandations concernant la supplémentation et le statut en vitamine D de la population : état des lieux et étude des prescriptions dans une officine de Meurthe-et-Moselle*. Doctoral dissertation, Université de Lorraine, 2016.
- [14] Li, Y., Zhao, P., Jiang, B., et al. Modulation of the vitamin D/vitamin D receptor system in osteoporosis pathogenesis: Insights and therapeutic approaches. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 18, 860, 2023.
- [15] Mallet, E. Vitamine D. *Journal de pédiatrie et de puériculture*, 27, 2014, 29–38.
- [16] Monany, D. *L'emploi des vitamines au quotidien*. Doctoral dissertation, Université de Limoges, 1999.

- [17] Murry, E. *Actualités sur la vitamine D et nouvelles perspectives thérapeutiques*. Thèse de doctorat, Sciences pharmaceutiques, Faculté de pharmacie de Grenoble, Université Joseph Fourier, 2011.
- [18] Pigarova, E. A., Dzeranova, L. K. & Yatsenko, D. A. Absorption and metabolism of vitamin D in health and in gastrointestinal tract diseases. *Obesity and Metabolism*, 19(1), 2022, 123–133.
- [19] Rosen, C. J. Clinical practice. Vitamin D insufficiency. *New England Journal of Medicine*, 364(3), 2011, 248–254.
- [20] Ross, A. C., Manson, J. E., Abrams, S. A., Aloia, J. F., Brannon, P. M., Clinton, S. K., Durazo-Arvizu, R. A., Gallagher, J. C., Gallo, R. L., Jones, G., Kovacs, C. S., Mayne, S. T., Rosen, C. J., & Shapses, S. A. The 2011 report on dietary reference intakes for calcium and vitamin D from the Institute of Medicine: What clinicians need to know. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 96(1), 2011, 53–58.
- [21] Solomons, N. W., & Kurpad, A. *Vitamin D*. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of human nutrition* (Vol. 2). Elsevier, 2023.
- [22] Tissandié, E., Gueguen, Y., Lobaccaro, J.-M., Aigueperse, J., & Souidi, M. Vitamin D: Metabolism, regulation and associated diseases. *Médecine/Sciences*, 22(12), 2006, 1095–1100.
- [23] Thomas, L. (2023, January 17). *Vitamin D biochemistry*. News-Medical. Retrieved December 3, 2024, from <https://www.news-medical.net/health/Vitamin-D-Biochemistry.aspx>

