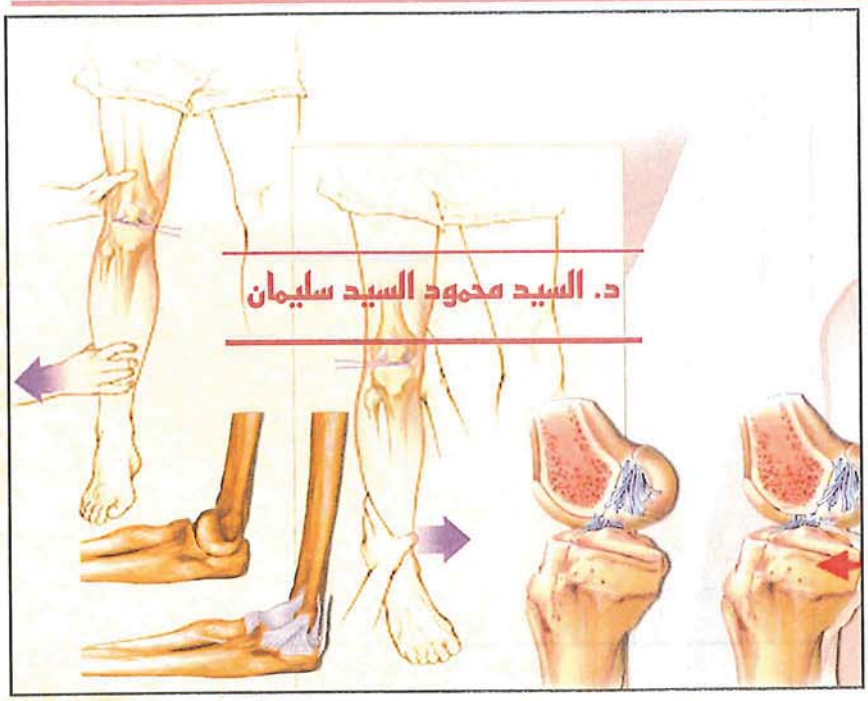


د. السيد محمود السيد سليمان

بيوفيزياء العظام ..
التركيب والتشخيص

العظام هي أنسجة حية تتكون من خلايا عظمية (Osteocytes) تكوِّن ٢٪ من حجم العظام وتنمو بواسطة الغذاء الذي يأتيها عن طريق الدم إلى أن تصل الى الطول والشكل المطلوب. ولاتتوقف عملية بناء العظام (Osteoclast) في الكائن خلال فترة حياته، إذ توجد عملية أخرى هي عملية هدم خلايا العظام الهرمة بغرض تجديد حيويتها والحفاظ على خواصها الفيزيائية. فخلال فترة الطفولة والمراهقة فإن عملية بناء العظام تكون أسرع من عملية الهدم إلى أن تصل العظام الى خواصها العظمية من حيث الطول والصلابة. وهذا يحدث عندما يصل عمر الإنسان الثلاثين عاماً. بعد هذه السن تبدأ عملية الهدم في الزيادة عن عملية البناء، والتي بدورها تؤدي إلى هشاشة العظام، ومن ثم يسهل تعرضها إلى الكسر وخاصة عند كبار السن.

الجدير بالذكر أن عملية الهدم في العظام عند النساء اللاتي جاوزن سن اليأس (انقطاع الدورة الشهرية) تكون أكبر من الرجال، ولذا فإنهن معرضات لمرض هشاشة العظام (Osteoporosis).

مكونات العظام

تتكون العظام بجانب الماء من نوعين مختلفين من المواد أحدهما عضوي وهو الكولاجين (Collagen)–وهو ليس من نوع كولاجين الجلد – ويكون ٤٠٪ من كتلة العظام و ٦٠٪ من حجمه، والآخر غير عضوي وهو معدن العظام (Bone mineral) ويكون ٦٠٪ من كتلة العظام و ٤٠٪ من حجمه. ومعدن العظام عبارة عن بلورات هيدروكسي أباتيت الكالسيوم $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$، وهذا المعدن مشابه لذلك الموجود في الطبيعة والمسمى بأبتايت الفلور (Fluorapatite) الذي يختلف عن معدن العظام في أن الفلور (F) يحل محل الهيدروكسيد (OH)، ولذا فإنه أكثر ثباتاً من معدن العظام، وعليه فإن وجود الفلور بنسبة ضئيلة في الماء مهم جداً ليعطي الأسنان الصلابة، وذلك عن طريق ملء الفجوات الميكروسكوبية بها عن طريق اتحاده مع معدن العظام. ولهذا يستخدم الفلور المشع (^{18}F) في الكشف عن الفجوات الموجودة في العظام التي لاتظهر باستخدام الأشعة السينية.

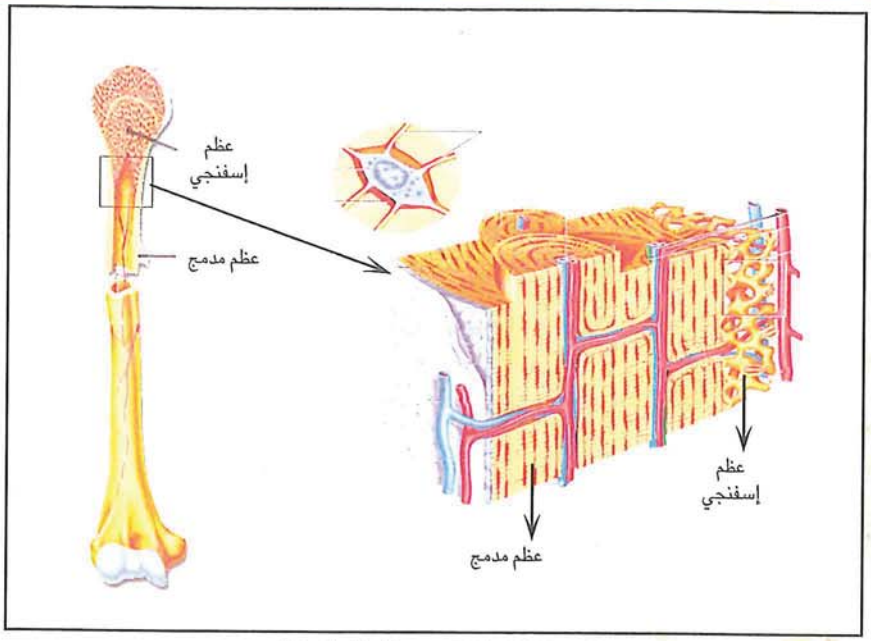
أظهرت الصور باستخدام حيود الأشعة السينية أن معدن العظام يتكون من بلورات كلسية على شكل قضبان (rods) ذات قطر يتراوح مابين ٢ إلى ٧ نانومترات، وطول من ٥ إلى ١٠ نانومترات، ويوجد حول كل بلورة طبقة من الماء تحتوي على محلول مكون من عدد من المواد الكيميائية التي تحتاجها.

ونظراً لقصر أبعاد بلورات معدن العظم فإن المساحة الكلية لها تكون كبيرة، مما يسهل عملية التغذية، إضافة إلى إعطاء العظم ـ بصفة عامة ـ الصلابة المطلوبة لتحمل أقصى درجات الإجهاد.

الجدير بالذكر أن الإنسان تعلم من هذا التركيب الدقيق لمعدن العظام الذي تتجلى فيه عظمة الخالق ﴿وفي الأرض آيات للموقنين . وفي أنفسكم أفلا تبصرون﴾ (الذاريات أية ٢٠–٢١). فاعتمد على هذا التركيب الفريد في إنتاج مواد على هيئة بلورات متناهية الصغر–حدود النانومتر– تنتج بعد تجميعها مادة خالية من التركيبات الغريبة كالشقوق الميكروسكوبية وغيرها، وهذا يعطيها الصلابة المطلوبة لتحمل الخدمة الشاقة.

خواص العظام

يتكون الهيكل العظمي للإنسان من ٢٠٦ عظمة تكوِّن معاً نظاماً ثابتاً تتعلق به الأنسجة الرخوة وأعضاء الجسم



● شكل (١) العظم المدمج والعظم الإسفنجي.

المختلفة. ولهذا فإن حركة الجسم تقوم على التفاعل بين العضلات والهيكل العظمي. أي أنهما يمثلان نظام عضلي ـ هيكلي (Musculo-Skeletal System). حيث تتصل العضلات بالعظام عن طريق الأوتار (Tendons) ، في حين تتصل العظيمات ببعضها البعض عن طريق الأربطة (Ligaments)، وعندها يسمى هذا الاتصال وصلة (Joint).

وتوجد العظام على شكل نسيج، شكل (١)، وفي صورتين ـ يكونان معاً في أغلب الأحيان ـ هما :ـ

ـ مدمج (Compact) صلب كثيف، ويكون الجزء الظاهري الصلب.

ـ إسفنجي (Spongy)، ويكون داخل الجزء الصلب .

وبالرغم من أن الهيكل العظمي يتكون من هذا العدد من العظيمات فإنه يمكن تحديد أشكالها، كما في شكل (٢)، في خمس مجموعات هي:

ـ **المجموعة الأولى :** عظام على هيئة لوح (Plate-Like) مثل عظام الكتف وبعض عظيمات الجمجمة.

ـ **المجموعة الثانية :** عظام طويلة ومجوفة (Long hollow) مثل عظام اليد والأرجل والأصابع.

ـ **المجموعة الثالثة :** عظام إسطوانية (Cylindrical) مثل عظام العمود الفقري (Spin Vertebrae) .

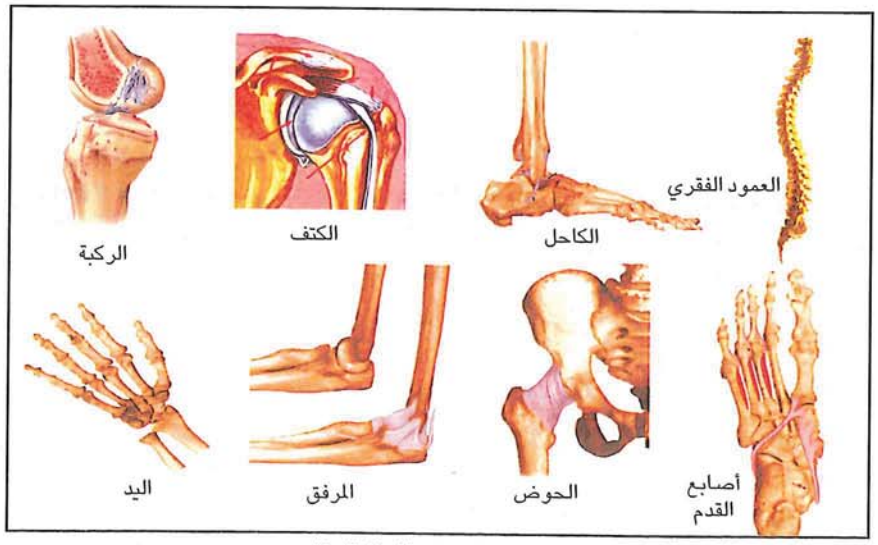
ـ **المجموعة الرابعة :** عظام غير منتظمة الشكل (Irregular) مثل عظام الدماغ ورسغي ـ كاحلي ـ القدم (Ankles).

ـ **المجموعة الخامسة :** عظام الريش (Ribs).

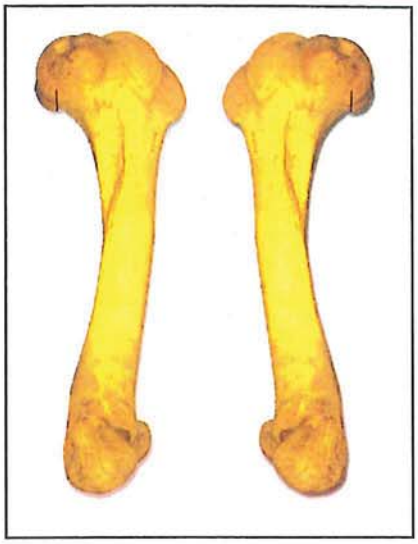
تمثل العظام نظاماً هندسيا بديعاً يحقق أقصى درجات الصلابة مع قليل من المرونة بأقل كمية من المواد. ويمكن التحقق من هذه الحقيقة بدراسة الشكل الهندسي لعظمة الفخذ (Femur bone) المبينة بشكل (٣)، فنجد أن سطحها العلوي والسفلي أكبر بكثير من سمكها. وهذا يشابه إلى حد كبير قضيب السكة الحديد الذي يتخذ نفس الشكل، وذلك لأن الإجهاد الناشيء عن وزن القطار يكون على السطح العلوي والسفلي فقط. ولهذا فإن إتخاذ عظمة الفخذ هذا التركيب وهذا النظام الهندسي البديع من شأنه أن تكون خفيفة مع تحملها لأقصى درجات الإجهاد، ليس هذا فقط ولكن لعظمة الفخذ شكل دائري بعض الشيء بالإضافة إلى أن قطرها عند المنتصف أكبر منه عند الرأسين لتتحمل الإجهاد الذي يصل إلى نهايته العظمي عند المنتصف. ويمكن ملاحظة ذلك إذا احضرت أنبوبة بلاستيكية دائرية مجوفة مثل التي تستخدم في شرب المياه الغازية، فعند الضغط عليها من أعلى فإنها ستنبعج من المنتصف .

وتتميز العظام بوجود حواجز إما على سطحها أو داخلها كما هو واضح في رأس وعنق عظمة الفخذ، والغرض من هذه الحواجز هي زيادة مساحة السطح حتى تتحمل أقصى درجات الإجهاد بالنسبة للإنضغاط (Compression) أو للشد (Tension) حسب ترتيبها في الإتجاهين كما هو موضح بشكل (٤).

بجانب هذه الخواص الفريدة للعظام فإنها مادة صلبة لها صلابة الجرانيت في تحمل الإجهاد، وتفوقه بمقدار ٢٥ مرة في



● شكل (٢) بعض أشكال العظام.



● شكل (٣) شكل عظمة الفخذ (Femur) وفيها تتجلى عظمة الخالق في قمة التصميم الهندسي.

حالة الشد، لاتتغير كثافة العظام المتماسك (Compact bone) ـ تساوي ١,٩ جرام/سم٣ ـ بالزمن ولكن الذي يتغير هو كتلة معدن العظم "Bone mineral Mass" (BM) والذي يؤدي إلى انخفاض سماكته، وبالتالي تجعله أكثر سهولة للكسر.

ويبين جدول (١) مقارنة بين الخواص الميكانيكية للعظام والمواد الأخرى المستخدمة في الحياة، ومنه يتضح أن العظام المتماسكة تتحمل كل من الإجهاد الإنضغاطي والشدي، مما يعطيها بعض المرونة، ويؤدي هذا بالطبع إلى الإجابة على السؤال التالي : لماذا يتغير طول الإنسان تغيراً طفيفا بناءً على وضعه ؟ حيث يكون طوله وهو واقف أقل بعدد قليل من المليمترات بالمقارنة مع طوله وهو مستلقي على ظهره.

يتضح من الجدول (١) أن للبروسولين (الخزف) خواص جيدة لذلك يستخدم في عمل الأسنان الصناعية. كما توجد الآن مواد تستخدم في ترقيع أو ملء الفجوات الموجودة بالعظام. فمثلا تستخدم كبريتات الكالسيوم لهذا الغرض منذ مئات السنين، ومنذ ذلك الوقت فإن الأبحاث على هذه المادة أدت الى تحسين خواصها بإنتاجها على هيئة بلورات دقيقة، مثل معدن العظام ـ وخالية من التلوث حتى يسهل امتصاصها داخل العظام. ومن أمثلة ذلك مادة (Osteoset R) التي تضاف اليها مادة أخرى غير معدنية تحمل إسم (Allmatrix TM) وتكون على هيئة معجون . توجد مادة حديثة تستخدم منذ عام ١٩٩٩م وتحاكي العظم بتركيبته العضوية وغير العضوية ـ تحمل اسم (Pepgen P-15 TM) تمتص داخل العظام وتقوم بتحفيز خلاياه لإنتاج مزيد من الخلايا، وبالتالي إرجاعه إلى حالته الطبيعية .

أمراض العظام وتشخيصها

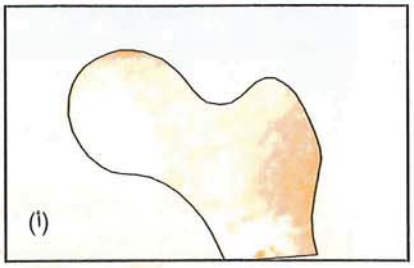
تتعرض العظام كأي نسيج حي من أنسجة وأعضاء الجسم للاصابة بالأمراض. ومن أهم الأمراض التي تصيب العظام مرضان، يتعلق الأول بخلل في تكوين العظام منذ النشأة الأولى ويسمى قصور في تكوين العظام (Osteoginesis Imperfecta-OI) أما المرض الآخر فيتعلق بالعمر ـ الشائع الآن خاصة بين النساء ـ وهو هشاشة العظام (Osteoporosis).

● مرض قصور العظام

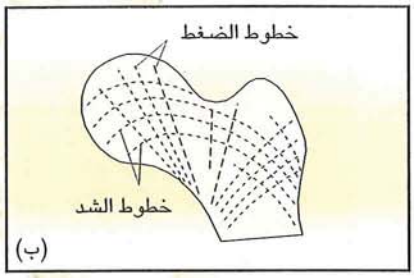
ينشأ مرض (OI)نتيجة خلل في المورثات، ويؤدي المرض إلى سهولة كسر العظام عند تعرضها إلى صدمات بسيطة أو بدون سبب. ويؤدي هذا الخلل الوراثي إلى إنتاج كميات قليلة من الكولاجين أو كولاجين ذا خواص رديئة، يجعل نمو العظام ضعيفاً، وحيث أن الكولاجين هو الأساس المناسب الذي تنمو عليه الخلايا العظمية فإن العظام المتكونة تكون ضعيفة وسهلة الكسر.

المادة	إجهاد الإنهيار نيوتن/مم٢	شد الإنهيار نيوتن/مم٢	معامل يونج للمرونة ×١٠نيوتن/مم٢
الصلب القاسي	٥٥٢	٨٧٢	٢٠٧٠
المطاط	–	٢,١	,٠١
الجرانيت	١٤٥	٤,٨	١٥٧
الخرسانة	٢١	٢,١	١٦٥
شجر البلوط	٥٩	١١٧	١١٠
البرسولين	٥٥٢	٥٥	–
العظم المتماسك	١٧٠	١٢٠	١٧٩
العظم الإسفنجي	٢,٢	–	,٠٧٦

● جدول (١) الخواص الميكانيكية للعظم وبعض المواد الأخرى.



● شكل (٤أ) رأس وورقبة عظمة الفخذ.



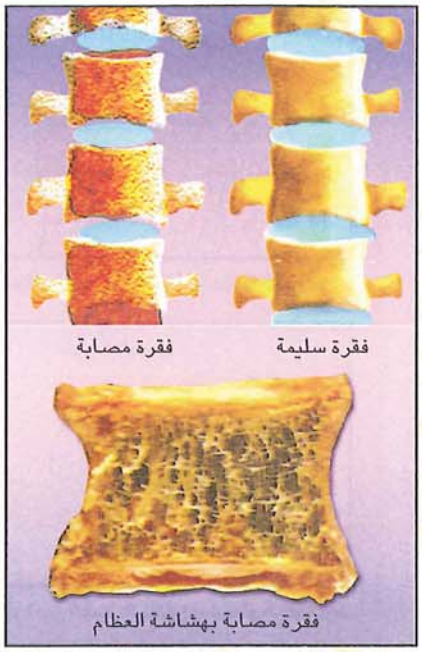
● شكل (٤ب) الشكل الحاجزي لخطوط الضغط والشد والتي عن طريقها يتوزع وزن الجسم.

ولايوجد شفاء كامل من مرض (OI)، ولكن يكون العلاج في اتجاه وقف ومراقبة الأعراض، وذلك بزيادة فاعلية الحركة وتطوير أقصى كمية من كتلة العظام وقوة العضلات والعناية بالكسور وزيادة جرعات العلاج الطبيعي.

وينصح الأطفال والبالغون المصابون بهذا المرض بالعناية بالتمرينات الرياضية تحت إشراف أخصائي، وذلك لزيادة فاعلية العضلات والعظام. كما أن السباحة والعلاج الطبيعي بالسباحة مفيدان جداً لأن الماء يساعد على الحركة بدون أخطار نسبية. وينصح أيضا بالاهتمام بالغذاء الصحي بناء على نظام غذائي جيد وعدم زيادة الوزن مع الامتناع عن التدخين وشرب الخمر وعدم أخذ أدوية تحتوي على الإستيرويدات مثل الكورتيزون.

● مرض هشاشة العظام

هشاشة العظام (Osteoporosis) أو العظام المسامية هو مرض يتصف بنقص



● شكل (٥) فقرة سليمة وفقرة مصابة بهشاشة العظام.

في كتلة العظم (Bone Mass) وتلف في بنائه، ويوضح شكل (٥)، الفرق بين فقرة عظمية طبيعية وأخرى مصابة. وبالطبع يؤدي هذا المرض الى ضعف العظام، ومن ثم يؤدي إلى الكسر، خاصة في عظم الحوض (الورك) (Hip) والعمود الفقري والمعصم. ويعاني من هذا المرض كل من الرجال والنساء، وإن كان وجوده في النساء أكثر.

يعد مرض هشاشة العظام من أكثر الأخطار التي تواجه صحة ٢٨مليون أمريكي ٨٠٪ منهم من النساء. كما أنه مسؤول عن ١,٥ مليون كسر سنوياً في الولايات المتحدة الأمريكية، منهم ٣٠٠ ألف كسر في الحوض، ٧٠٠ ألف كسر في الفقرات، ٢٥٠ ألف في الرسغ، و ٣٠٠ ألف في أماكن أخرى.

وتوجد عدة عوامل مرتبطة بحدوث -أو المساعدة - في ظهور مرض هشاشة العظام تسمى بعوامل المخاطرة (Risk Factors)، يمكن تجنب بعضها دون البعض الآخر.

* **عوامل لايمكن تجنبها**، ومنها:

١- النساء أكثر عرضة للإصابة لأن كتلة العظام عندهن أقل، كما أن نسبة فقد العظام وخاصة بعد سن اليأس تكون سريعة بسبب نقص هرمون الإستروجين.

٢- كلما تقدم الإنسان في العمر إزداد عامل المخاطرة بالإصابة، وذلك لأن كمية العظام تكون أقل ومن ثم أضعف.

٣- يكون للمرأة النحيلة عامل مخاطرة كبير.

٤- الجنس العرقي له تأثير، فمثلا يكون للمرأة القوقازية والأسيوية عامل مخاطرة أكبر من الاجناس الأخرى (الأفريقية واللاتينية).

* **عوامل يمكن تجنبها**، ومنها:

١- النقص غير الطبيعي في الهرمون الجنسي (Sex hormone). أي نقص هرمون الإستروجين عند النساء خاصة عند سن اليأس، وأيضاً نقص مستوى هرمون الذكورة التسترون عند الرجال.

٢- فقد الشهية وإحتواء الطعام على نسب ضئيلة من عنصر الكالسيوم وفيتامين (د).

٣- استخدام بعض الأدوية مثل أدوية الكورتيزون وأدوية مقاومة نوبات الصرع، وزيادة استخدام أدوية يدخل في تركيبها الألمونيوم وبعض أدوية علاج السرطان، وزيادة هرمون الغدة الدرقية (Thyroid hormone).

٤- الحياة الخاملة وعدم ممارسة الرياضة وكثرة عدد ساعات النوم عن المعتاد.

٥- التدخين وشرب المواد الكحولية.

مكافحة مرض العظام

مما سبق ذكره تتضح أهمية احتواء الطعام على عنصر الكالسيوم وفيتامين (د)، ويوضح جدول (٢) كمية الكالسيوم الضرورية للإنسان خلال فترة حياته والتي أوصى بها المعهد القومي الأمريكي للصحة عام ١٩٩٤م، ويجب الإشارة إلى أن وجود فيتامين (د) ضروري لكي تقوم الأمعاء بامتصاص الكالسيوم، وبما أن هذا الفيتامين يتكون في الجلد نتيجة التعرض لأشعة الشمس، فإنه من الضروري على السيدات والرجال الذين لايتعرضون لأشعة الشمس نتيجة مكوثهم في المنازل مدة طويلة أو خلال فترة الشتاء أن يتناولوا هذا الفيتامين بواقع ٤٠٠ الى ٨٠٠ وحدة دولية (IU) في اليوم، كما يجب الانتباه إلى أن الإفراط في تناول هذا الفيتامين غير مستحب.

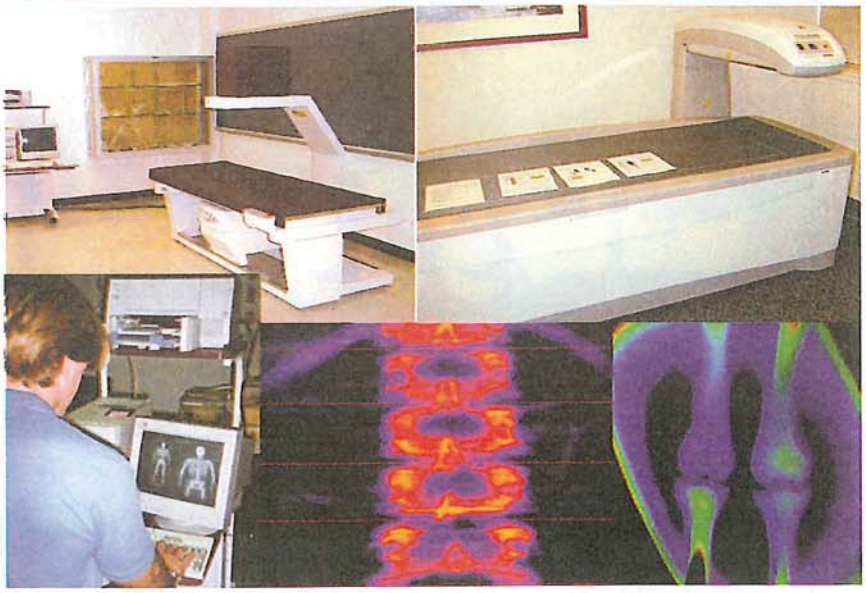
ويطلق على مرض هشاشة العظام أحياناً اسم المرض الصامت (Silent Disease) لأن فقد كمية من معدن العظام يحدث بدون أعراض ولايشعر به الإنسان إلا عندما يحدث له كسر مفاجيء نتيجة صدمة صغيرة مفاجئة، أو يقع على الأرض أو التواء بسيط في الرسغ، هذا بالإضافة إلى أن كسر فقرات العمود الفقري تصاحبه آلام مبرحة في الظهر وانحناء فيه، وبالتالي يؤدي الى إنخفاض في قامة الإنسان المصاب عند ظهور هذه الأعراض، عليه ينصح بعمل مسح لكثافة العظم والذي يقاس فيه كثافة معدن العظم (Bone Mineral Density- BMD)، والذي يرتبط بكمية العظام (Bone Mass). وحتى لايفاجأ الإنسان بهذا المرض الصامت فإنه ينصح هنا الذين لهم تاريخ مع المرض من كلا الجنسين أن يقوموا بعمل قياس قيمة (BMD). وذلك كما يلي :-

١- بالنسبة للنساء بعد سن اليأس وعندهن عرض أو أكثر من الأعراض الآتية:

- تاريخ مرضي في العائلة لمرض هشاشة العظام بعد سن ٦٥.
- نقص في الطول أكثر من بوصة .
- نقص في مادة العظام (Osteopenia) كما توضحه الأشعة.

العمر	كمية الكالسيوم مجلم/ يوم
٦ أشهر	٤٠٠
٦- سنة	٦٠٠
١- ١٠سنة	٨٠٠-١٢٠٠
١١- ٢٤	١٢٠٠-١٥٠٠
٢٥- ٥٠(رجال ونساء)	١٠٠٠
٥١-٦٤(نساء علىERT ورجال	١٠٠٠
٥١(نساء ليست على ERT	١٥٠٠
٦٥ فأكثر	١٥٠٠
النساء الحوامل والمرضعات	١٢٠٠-١٥٠٠

● جدول (٢) كمية الكالسيوم الضرورية للإنسان حسب العمر والجنس.



● شكل (٦) قياس كثافة العظام بجهاز (DEXA).

– الإفراط في شرب الخمر.

٢– بالنسبة للنساء الشابات اللاتي لديهن عرض أو أكثر من الأعراض الآتية:–

– مشاكل في المبايض أو إزالتها.

– عدم انتظام دورة الحيض (الزيادة أو النقصان).

– نقص في مادة العظام.

– كسر العظام عند أقل إجهاد.

٣– بالنسبة للرجال الذين عندهم عرض أو أكثر من الأعراض الآتية:

– قلة إفراز الهرمون الذكري (Testosterone).

– قلة كمية العظام (Osteopenia).

– كسر العظم عند الإجهادات البسيطة.

– الإفراط في التدخين وشرب الخمر.

٤– أسباب إضافية، مثل :

– قلة الكالسيوم في العظام.

– نقص في فيتامين (د).

– الالتهابات الروماتيزمية.

– أدوية الكورتيزون.

– أمراض الكلى المزمنة.

– زيادة إفراز الغدة الدرقية.

ويمكن قياس كثافة العظام باستخدام عدد من الأجهزة مثل الأشعة السينية المقطعية (CAT)، والأشعة السينية العادية، واستخدام الموجات فوق الصوتية أو استخدام إمتصاص أشعة سينية مزدوجة الطاقة (Dual Energy X-Ray Absorptiometry DEXA) ويعد الجهاز الأخير (Dexa) من أكثر وأدق الأجهزة المستخدمة وهو عبارةعن ماسح يستخدم شعاعين من الأشعة السينية منخفض الجرعة، يقوم بإمتصاص هذين الشعاعين داخل العظام أثناء مرورهما خلاله، ويزيد هذا الامتصاص بزيادة كثافة العظام، حيث تسجل درجة الامتصاص بواسطة كاشف يوضع في الطرف المقابل للعظام متصل بحاسب يقوم بحساب كثافة العظام بناء على الامتصاص النسبي بين هذين الشعاعين.

ويوضح شكل (٦)، صورة لهذا الجهاز حيث يرقد المريض على طاولة في حالة سكون، وفي هذه الحالة يتحرك كل من مصدر الأشعة الموجود أسفل الطاولة مع الذراع الموجود أعلى المريض، ويقومان بعملية المسح الكلي أو التركيز على عضو محدد. ويقوم الجهاز بتحويل المعلومات الناتجة عن امتصاص الأشعة وتسجيلها بواسطة الكاشف، وباستخدام الحاسب يمكن ابراز صورة للعضو مع إعطاء نتيجة كثافة العظام (BMD). مقارنة بقيمتها للشخص المعياري – شخص شاب سليم– وإعطاء نسبة الانخفاض. فإذا كان الإنخفاض أقل من واحد إنحراف معياري (Standard Deviation) من الشخص المعياري تكون عادية (Normal)، أما اذا كانت بين ١ و ٢,٥ أقل من الإنحراف المعياري فهذا يعني انخفاض في كمية العظام (Osteopenia) ولكنه ليس خطيراً مثل هشاشة العظام. أما إذا كانت القياسات أكبر من ٢,٥ من الإنحراف المعياري فإن ذلك يعني وجود هشاشة في العظام.

وفي حالة ثبوت وجود هشاشة في العظام فإن هذا المسح يجب أن يكرر أثناء العلاج. ويعد ماسح (DEXA) آمن نسبياً حيث أن الجرعة الإشعاعية التي يتعرض لها المريض تقدر بمقدار ١٠٪ من الجرعة التي يتعرض لها أثناء إجراء أشعة عادية للصدر، كذلك فإن الجهاز لايحيط بالمريض ولايتصل به إتصالا مباشراً، وبذلك لايسبب له أي ازعاج.

المراجع :

1- **Cameron J.R** (1978 "Medicall Physics" John Wiley of Sons, 38-58 .

2- **Brunton, J.A, H.S.Bayley ,and S.A.Atkinson** (1993) Validation and application of dual -energy x-ray absorptionetry to measure bone mass and body composition in small infants Am.J.Clin Nut, 58, 839.

3- **Whyte, M.P.** (1992) Hereditory Metabolic and dysplastic Skeletal disorders Coe Favus M.J. (Ed,) Disorders of Bone and Mineral Metaloolism Rauen Press , Ltd, 210 UK.

4- **Shapiro, J.** (1996). Osteogenesis Impeifecta and other defects of bone development as occassional Cause of Adult Osteoporsis .In : Marcus,R. Feldman **D.Kelsoy, J.** (Eds) Osteoporosihs, Academic Press, 703-713.

5- National Institutes of Health, Osteoporosis and Relatcd Bone Diseases, National Resource center 1232 22nd Street, NW, Washington DC 20037- 129 U.S.A.

6- Osteogenesis Imperfecta OI Foundation 804 W. Diamond Avenue Suite 210 Gaithersburg MD 20878 N.S.A.