# الفصل الرابــع

**بايوميكانيكية**
**نمو عظم الإنسان و تطوره**

**The Biomechanic Of Human Bone**
**Growth and Development**

بعد إكمال هذا الفصل سيكون القارئ قادراً على:

- ✓ أن يفسر ويوضح كيف تأثر مكونات المادة والنظام التركيبي للعظم في المقدرة على مقاومة الأحمال الميكانيكية.
- ✓ وصف العمليات المرتبطة بالنمو الطبيعي و نضوج العظم.
- ✓ سيتمكن من وصف تأثيرات التمرين وفقدان الوزن على العمليات الحيوية للعظم.
- ✓ مناقشة النظريات التي تدرس العلاقة بين الأشكال المختلفة للتحميل الميكانيكي و إصابات العظم الشائعة.
- ✓ ما الذي يحدد توقف نمو العظم؟
- ✓ كيف تتسبب كسور الإجهاد؟

لماذا تتسبب رحلات الفضاء في تقليل الكثافة المعدنية للعظم عند رواد الفضاء؟

- ✓ ما المقصود بهشاشة العظام و كيف نتجنبها؟

فكلمة العظم تسحر الخيال و الصورة الذهنية بشكل تام للعظم الميت، الجاف هي عبارة عن قطعة هشة من المواد المعدنية التي يمكن أنْ يتذوقها الكلب. ومن الصعب أنْ ندرك بأن العظم الحي هو نسيج حركي يشكل و يعاد تشكيله عن طريق القوى المؤثرة عليه. للعظم وظيفتين مهمتين للبشر:

الأولى أنه يعطي هيكل عظمي صلب و يدعم و يحمي أنسجة العظم الأخرى.

الثانية فإن العظم يشكل مجموعة من العتلات الصلبة و التي يمكن أنْ تكون متحركة بواسطة القوى المستمدة من العضلات وهذا الفصل يناقش الأشكال البيوميكانيكية لتركيب و تكوين العظم، نمو العظم و تطوره، استجابة العظم للشد و الضغط اضافة الى الإصابات الشائعة للعظم.

- ✓ (Levers) العتلات: مادة صلبة نسبياً يمكن أنْ تولد الدوران حول المحاور باستعمال القوة .

### مكونات مادة العظم Material Constituents

إن أكبر عوامل بناء العظم هي كاربونات الكالسيوم وفوسفات الكالسيوم، والكولاجين و الماء وتختلف النسب المئوية لهذه المواد باختلاف صحة وعمر العظم. حيث تشكل كاربونات الكالسيوم تقريبا60 إلى 70٪ من وزن العظم. تعطي هذه المواد العظم صلابته و هي التي تحدد قوته الضاغطة.

اما الكولاجين فهو بروتين يعطي العظم المرونة و يساهم في قوة مطاطيته. هنالك فقدان متزايد للكولاجين و زيادة في هشاشة العظم مع تقدم العمر . ولذلك فإن عظام الأطفال هي أكثر مرونة من عظام الكبار.

بالنسبة للماء فهو مكون أساسي من مكونات العظم يشكل حوالي 25–30٪ من وزن العظم الكلي. فالماء الموجود في نسيج العظم هو مساهم رئيسي في قوة العظم. ولهذا السبب فالعلماء و المهندسين يدرسون الخواص الأولية في أنواع نسيج العظم و ذلك ما يضمن بأن عينات العظم المفحوص لن تصبح جافة .

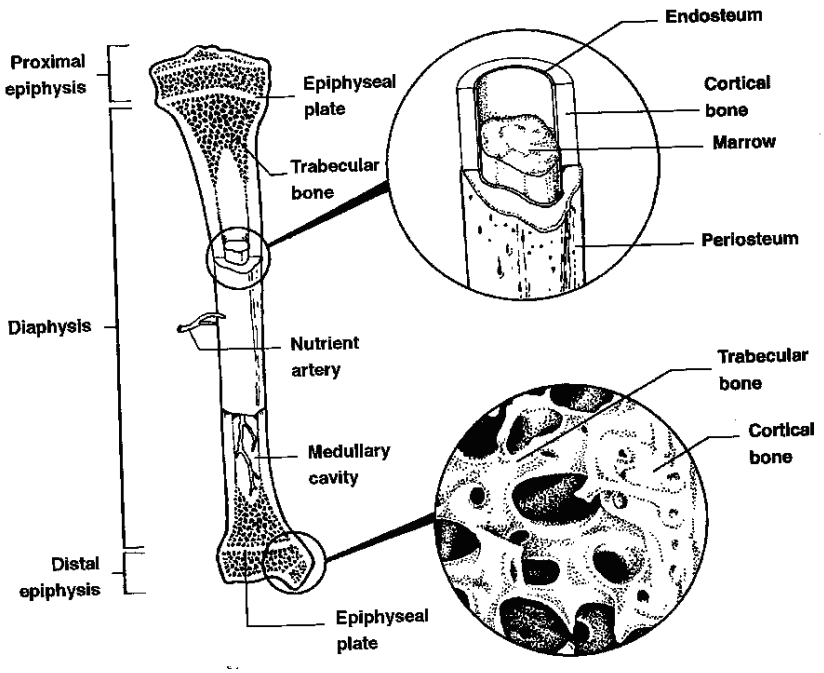
### نظام التركيب Structural Organization

تختلف النسبة المئوية للمواد المعدنية للعظم ليس فقط باختلاف عمر الفرد و لكن بالنسبة للعظم المحدد في الجسم فبعض العظام ذو مسافات أكثر من غيره، والعظم المسامي أقل نسبة في فوسفات الكالسيوم، و كاربونات الكالسيوم و الأكثر نسبة في النسيج الخالي من المواد المعدنية.

صنف نسيج العظم إلى نوعين بالاعتماد على المسامات (شكل1–4). فإن كانت نسبة المسامات واطئة بـ 5–30٪ من حجم العظم المشغول بنسيج خالي من المواد المعدنية ففي هذه الحالة يطلق على العظم القشري او اللحائي ، أما بالنسبة للعظم عالي المسامات بنسبة 30٪ إلى 90٪ من حجم العظم المشغول بنسيج غير معدني ويعرف بالأسفنجي، و العظم الحويجري (trebecular )

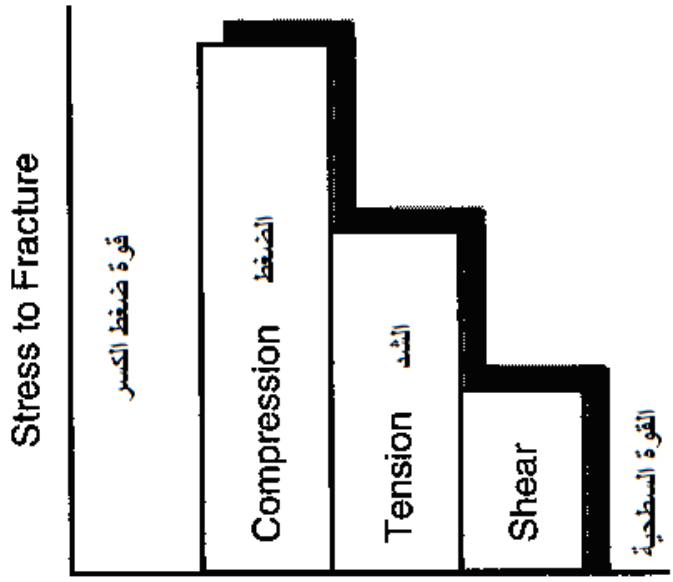
تحتوي على تركيب قرص العسل إضافة إلى عوارض أو أعمدة معدنية أفقية أو عمودية تدعى (trebecula) تشكل خلايا مملوءة بمخ العظم و زيته.

تعتبر مسامية العظم هامة بسبب تأثيرها المباشر على الخصائص الحركية للنسيج وبمحتواه المعدني العالي فان العظم اللحائي أكثر صلابة من العظم الاسفنجي وذلك لكي يقاوم الشد الكبير بأقل جهد .




شكل(1-4) يمثل تركيب العظم اللحائي وعظم trabecular

- ✓ العظم أللحائي(Cortical bone ) : نسيج رابط معدني سميك بأول أسفنجية موجودة في أعمدة العظام الطويلة.
- ✓ عظم اسفنجي (Trabecular) : نسيج رابط معدني سميك ذو كثافة عالية من المسامات موجودة في نهاية العظام الطويلة والفقرية.
- ✓ نتيجة لكون العظم أللحائي اصلب من العظم الاسفنجي (Trabecular) فانه يستطيع المقاومة بشدة اكبر وبأقل جهد .
- ✓ الجهد (Strain ): كمية التشويه مقسومة على الطول الأصلي للتركيب على الميل الزاوي الأصلي للتركيب .
- ✓ التشويه (Deformation ): معدل التغير في الشكل الأصلي.




شكل (2-4) قوة العظم النسبية في مقاومة الضغط،التوتر،القوة السطحية.

## أنواع العظام Type of Bones

تساعد تراكيب واشكال (206) عظم في جسم الانسان على اداء وظائف محدودة فالهيكل العظمي هو الإطار العظمي المرن فهو يُعطي الجسم شكله ويحمي الأعضاء الحيوية ويعطي نظامًا من العَتلات، وحركة العضلات لكي يتمكن الجسم من التحرك. يحتوي الهيكل على النِقْي العظمي أي النسيج الذي يكون الدم ويخزن الهيكل بعض العناصر مثل الكالسيوم والفسفور ويطلقها إلى الدم.

وهي عبارة عن تراكيب وأشكال تمكنها من إن تنجز وظائفها المحددة ويقسم النظام الهيكلي الى هيكلي محوري: يتكون من عظام الرأس والعنق والجذع. وأهم أجزائه العمود الفقري الذي يشكل محورًا يدعم الأجزاء الأخرى للجسم. وتقع الجمجمة أعلى العمود الفقري. ويتكون العمود الفقري من عدد من العظام تسمى فقرات، ويوجد بينها أقراص ليفية. وتتكون الفقرات العنقية من سبعة عظام (عظام العنق). ويوجد بخلف الصدر اثنتا عشرة فقرة صدرية.

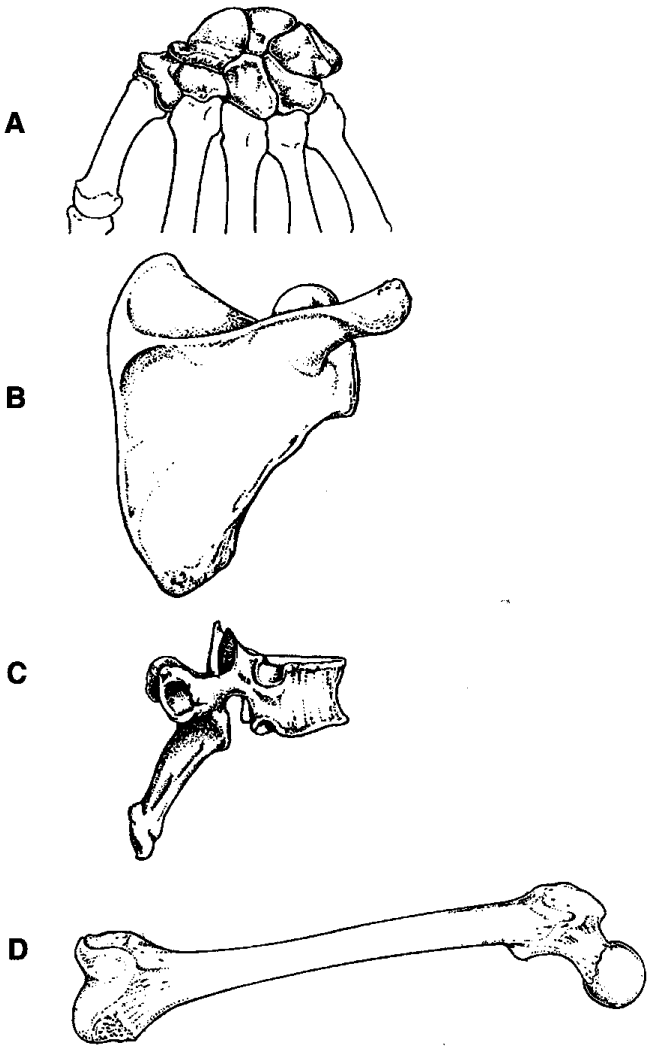
الهيكل الخارجي (المحيطي): يتكون من عظام الذراعين والأرجل ودعاماتها . ويمكن أن يصنف العظام طبقا للشكل العام والوظيفة .

1. العظام القصيرة وهي مكعبة الشكل تقريبا وتتضمن عظام الرسغ والمشط تعطي هذه العظام حركة انزلاقية محددة وتعمل على امتصاص الصدمة. شكل (4-A)
2. العظام المسطحة وتوصف عن طريق اسمها تحمي هذه العظام للأعضاء الداخلية والأنسجة الرقيقة وتعطي مساحات لاتصالات العضلات والأربطة. ومنها عظم الحرقفة وعظم القص والأضلاع وبعض عظام الجمجمة.(B)
3. العظام غير النظامية ولها أشكال مختلفة لتنفيذ وظائفها خاصة في جسم الإنسان على سبيل المثال فالفقرة تعطي وعاء عظمي دفاعي للحبل

الشوكي وتقدم عدة عمليات لربط العضلات والأربطة وتعمل على دعم وزن أجزاء الجسم العلوية وتعمل على إمكانية حركة الجذع في كل المحاور الرئيسية ومن أمثلتها عظم العجز وعظم الفك الأعلى وأمثلة أخرى للعظام الغير نظامية.شكل(C).

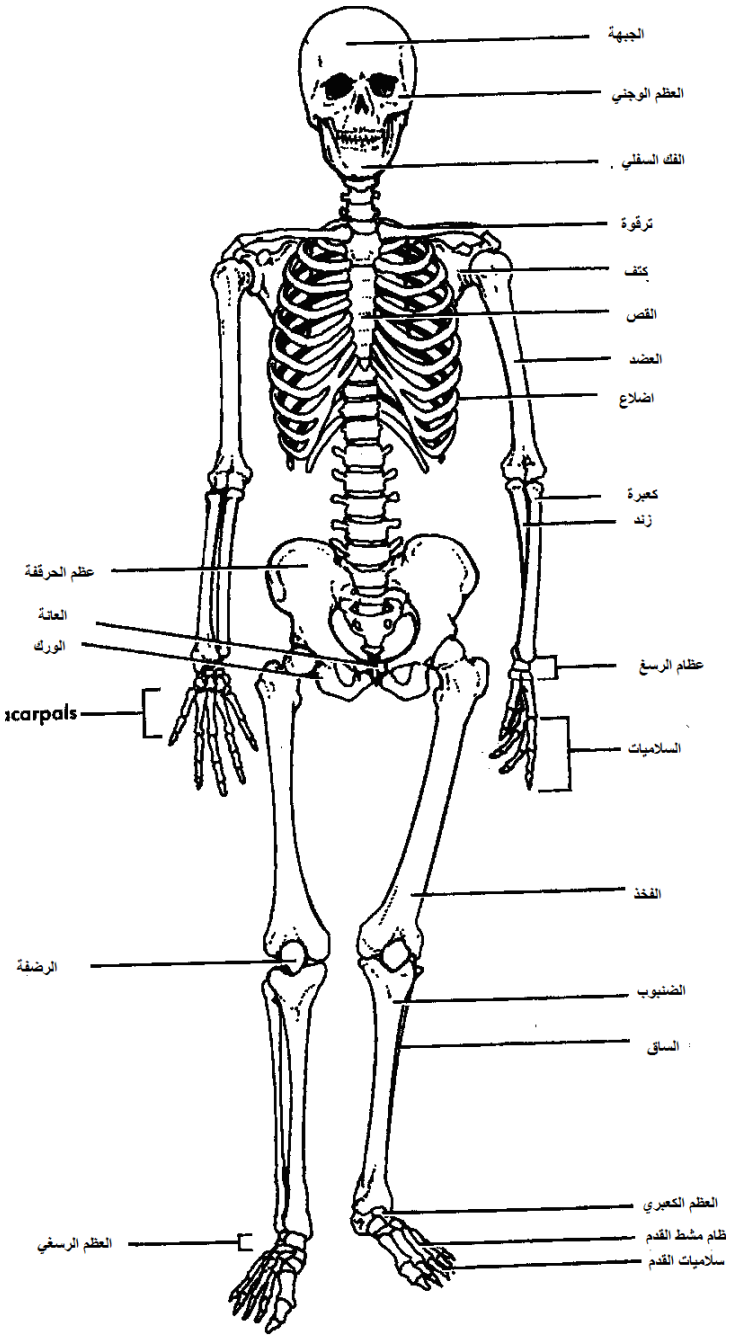
4. العظام الطويلة وهي عظام من الهيكل الملحق وتتكون من عمود اسطواني خشن وطويل ويدعى كذلك بجسم العظم أللحائي مع نهايات بصلية تعرف بالدرنات.

غضروف مفصلي ذاتي التزييت يحمي ويقي نهايات العظام الطويلة على قدرة التحمل نهايات الاتصال بالعظام الأخرى ،تحتوي العظام الطويلة مناطق مركزية مجوفة تعرف بالتجويف أو القناة الوسطية.(D).




شكل (3-4)

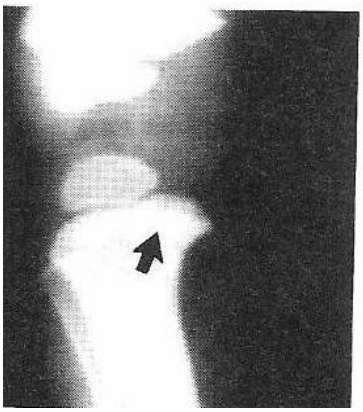
A.عظام الرسغ تصنف كعظام قصيرة. B .عظم الحرقفة يصنف كعظم مسطح
C.الفقرات هي أمثلة للعظام غير النظامية D .عظم الفخذ يمثل العظام الطويلة



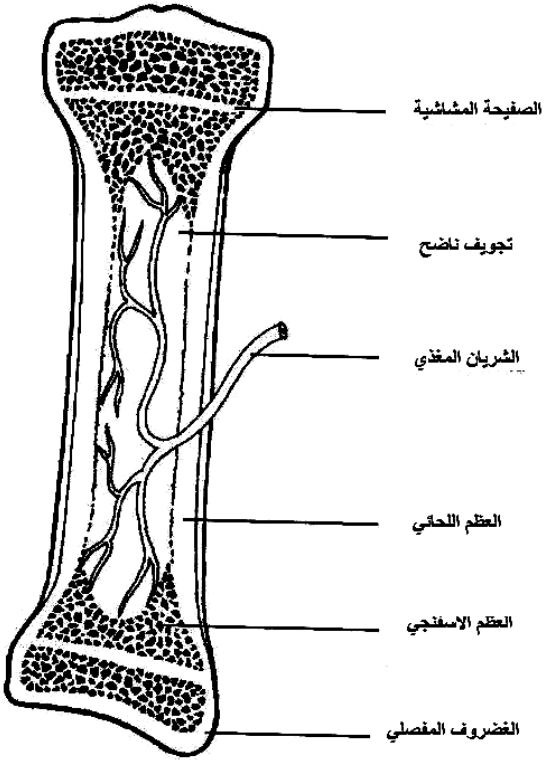

شكل(4–4) يمثل الهيكل العظمي للإنسان

- ✓ التباين في الخصائص(Anisotropic): عرض خصائص حركية مختلفة في الاستجابة من الأحمال في اتجاهات مختلفة.
- ✓ العظم هو الأقوى في مقاومة الضغط والأضعف في مقاومة القوة السطحية.
- ✓ الهيكل المحوري أو المركزي (central or axial skeleton ): ويحتوي الجمجمة ،الفقرة،عظم القص والإضلاع.
- ✓ الهيكل اللاحق أو الزائد الإضافي:ويحتوي على عظام زوائد الجسم
- ✓ العظام القصيرة (short bones): وهي تراكيب مكعبة صغيرة تتمثل بعظام المشط والرسغ.
- ✓ العظام المسطحة(flat bones):وهي عظام هيكلية مسطحة مثال عظم الحرقفة في الورك.
- ✓ العظام الغير نظامية(irregular bones ): تراكيب هيكلية بأشكال غير نظامية مثال ذلك عظم العجز.
- ✓ العظام الطويلة(long bones) :تراكيب هيكلية تتألف من عمود طويل بنهايات بصلية ومثال عظم الفخذ.
- ✓ الغضاريف المفصلة(articular cartilage ): وظيفتها حماية النسيج الرابط المرن فوق النهايات المفصلية للعظام الطويلة.

تكون العظام الطويلة مكيفة من حيث الحجم والوزن لتنفيذ الواجبات الحركية المحددة لها. فعظام الضنبوب والفخذ اكبر وأكثف وذلك لإسناد وزن الجسم .
أما العظام الطويلة في الطرف العلوي فتتضمن عظم الكعبرة وعظم العضد بطبيعتها اصغر واخف وذلك لتعزيز سهولة الحركة اضافة الى ماذكر فهناك عظام طويلة أخرى ومنها عظم الترقوة وسلاميات الأصابع وعظام الرسغ اضافة الى مشط القدم.



يمثل صفيحة الغضروف في عظم الفخذ لشاب




(شكل 5-4)الصفيحة الغضروفية هي جانب من نشاط Osteoblast والتي عندها يبنى العظم

## تطور ونمو العظم Bone growth and development

يتغير العظم الحي باستمرار طيلة حياة الإنسان فالعديد من هذه المتغيرات تمثل النمو والنضوج الطبيعي للعظم .

### النمو الطولي للعظم Longitudinal Growth

يحدث النمو الطولي للعظم في الصفائح المشاشية (epiphysis) (شكل5-4) وهي عبارة عن أقراص غضروفية موجودة قرب نهايات العظام الطويلة. ينتج الجانب المشاشي في كل صفيحة باستمرار خلايا عظم جديدة وخلال أو بعد سن المراهقة تخفي الصفيحة ويلتحم العظم منهية بذلك عملية النمو حيث ان معظم الصفائح تغلق في سن الثامن عشر (18) مع ان البعض يمكن ان تكون موجودة لديهم حتى عمر 25 عام.

شكل مشاشة العظام أو الصفيحة المشاشية حيث ينتج كل صفيحة مشاشية باستمرار خلايا عظمية جديدة خلال أو بعد فترة المراهقة الصفيحة ومن ثم تختفي ويلتحم العظم منهية النمو الطولي .

- ✓ اغلب الكراديس أو الأقراص الغضروفية تغلق في الـ 18 سنة بالرغم من ان البعض الأخر ربما يستمر حتى سن الـ 25.
- ✓ الغدة الصنوبرية epiphysis: هي مركز نمو العظم تقوم بإنتاج نسيج عظمي جديد لجزء من عملية النمو الطبيعي حتى سن المراهقة أو سن البلوغ المبكر.

**النمو المستعرض Circumferential Growth**

النمو العرضي : يكون عن طريق الطبقة العميقة للسمحاق كما يتآكل مركز جسم العظم ليضاف إلى القناة النقوية و يتركب من 200عظم

- ✓ السمحاق(Periostum) : وهو غشاء ذو طبقتين مزدوجتين يغطي العظم، أوتاد العظم القريبة إلى الطبقة الخارجية والطبقة الداخلية وهي مكان لنشاط خلايا البانية للعظم Osteoblast.
- ✓ الخلايا بانية العظم (Osteoblasts ): وهي خلايا خاصة للعظم وتقوم ببناء نسيج العظم الجديد.
- ✓ الخلايا الهادمة للعظم (Osteoclasts): وهي خلايا محدد للعظم تقوم بالتخلص من نسيج العظم.
- ✓ قانون الألماني (Wolff) :يشير إلى إن قوة العظم تزداد وتنخفض عندما تزداد وتنخفض القوى الوظيفية للعظم.

**استجابة العظم للشدة Bone response to stress**

هناك تغييرات أخرى تحدث في العظم الحي لا تتعلق بالنمو الطبيعي والتطور . العظم يستجيب حركيا للقوى (المختلفة الموجودة وغير الموجودة في حالة حدوث تغيرات في الحجم والشكل والكثافة وقد وضعت هذه الظاهرة أساسا عن طريق العالم الألماني (وولف في 1892) ان شكل العظم المعني وعناصر العظم هي التي تثبتها او تحركها باتجاه القوى الوظيفية وتزيد وتنخفض كثافتها لعكس كمية القوى الوظيفية.

**تشكيل وإعادة تشكيل العظم (Remodeling) Bone Modeling and**

استنادا إلى قانون وولف فان كثافات أشكال وأحجام العظام للبشر تعطي مقدار واتجاه التوترات الحركية التي تؤثر على العظام ولهذا فان المواد المعدنية للعظم وقوة العظم عند الأطفال والبالغين تقوم بإحداث التوترات والضغط على الجمجمة.وبما ان وزن الجسم يعطي الشد الحركي الثابت للعظام فان الكثافة المعدنية للعظم بشكل عام تعمل على توازن الجسم عند الأفراد الأكثر ثقلا والذين يملكون عظام ذات كثافة عالية وإضافة إلى ذلك فان الفعالية البدنية للفرد والبرنامج الغذائي والوراثة اضافة الى أسلوب الحياة اليومية يمكن ان تؤثر بشكل كبير على كثافة العظام .

طبق قانون وولف في نشاطات الخلايا البانية للعظم والخلايا الهادمة للعظم حيث ان هذه الخلايا تؤثر باستمرار في زيادة أو خفض او إعادة تشكيل العظم بمحصله تصب في كثافة العظم .الهيمنة والسيطرة المسبقة لفعالية الخلايا البانية للعظم (osteoblast ) تودي إلى تشكيل العظم بمحصله تصب في كثافة العظم اما عملية إعادة تشكيل العظم فتتطلب توازن في نشاط الخلايا البانية للعظم وهيمنة مسبقة في نشاط الخلايا الهادمةosteoclaste مع المحافظة على فقدان كثافة العظم .

تتمثل طواعية العظم عند الطفل الرضيع المولود في ظروف بدنية طبيعية ولكنه فاقد لعظم ظنبوب وهو العظم الحامل لغالبية الطرف السفلي بعد ان يمشي الطفل لفترة أشعة X تظهر تشكيل عظم الساق في الساق الشاذة أو المعاقة التي تظهر إلى الحد الذي لا يمكن تمييزها من عظم الضنبوب في الساق الأخرى.

حالة مهمة أخرى هي حالة العامل الذي فقد كل شي إلا الإصبع الخامس من إحدى يديه في الحرب فبعد 32 عام تكونت سلاميات الأصابع للإصبع المتبقي شبيه بالإصبع الثالث لليد الأخرى.

**زيادة كثافة وتضخم العظم Hypertrophy**

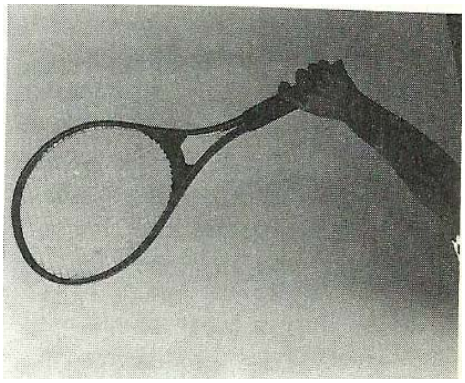
بالرغم من إن زيادة كثافة العظم (hypertrophy) في التغيرات الكبيرة في حجم وشكل العظم هي تغيرات غير اعتيادية فهنالك عدة أمثلة لتكوين العظم أو ما يسمى (hypertrophy) أي زيادة كثافة العظم في الاستجابة للنشاط البدني المنظم .

ان عظام الأشخاص ذوي النشاط البدني تكون أكثر كثافة وتحتوي مواد معدنية أكثر من الأفراد كثيرو الجلوس وقليلي الحركة في نفس العمر والجنس،إضافة إلى ذلك فان نتائج الدراسات العديدة تشير إلى إن الوظائف وأنواع الرياضة بشكل خاص عند المشي على ساق محددة أو منطقة من الجسم تودي الى إيجاد عظم بارز في المنطقة المعرضة للتأثير،فعلى سبيل المثال فان لاعب التنس المحترف لا يعرض الكثافة العضلية فحسب أنما يعرض كثافة نصف قطر تلك الذراع وكذلك نلاحظ كثافة العظم في اذرع رماة كرة البسبول ومن ناحية أخرى فان القوة والأحمال الكبيرة والأكثر إثارة تظهر زيادة في امتصاص المواد المعدنية للعظم .

في واحدة من الدراسات التي قام بها مجموعة من الباحثين لقياس كثافة عظام الفخذ( لـ 64) رياضي يمثلون دول عدة في مختلف الرياضات عرضت القياسات بان لاعبي الإثقال كانت نسبتهم هي الأعلى تلاها لاعبي الرمي ثم الركض ،لاعبي كرة القدم،والسباحين ،واستنتج عن ذلك البحث ان مقدار التحمل الهيكلي على العكس من تردد الحمل الذي يرتبط بكتلة العظم.

يبدو ان التدريب المنتظم يزيد من كثافة العظم ليس فقط في المناطق ذات التوتر العالي حسب وإنما على طول المنظومة الهيكلية .

البحوث التي أجريت على العداءين رجالا ونساء أظهرت معدل عالي لكثافة العظم في كلا الطرفين العلوي والسفلي كما ان تمارين الوزن غير المحمول مثل تمارين الدراجات والسباحة يمكن ان تساهم بشكل ايجابي في الكثافة المعدنية للعظم وتشير هذه الاستنتاجات الى وجود عوامل أخرى تساهم في كثافة العظم غير الجهد الحركي فعلى سبيل المثال يمكن ان يساهم الدوران البدني الجيد في تحسين صحة العظم ومع ذلك هنالك دليل على ان السباحين الذين يقضون جل أوقاتهم في الماء حيث تواجه قوة العوم الجاذبية ربما يمتلكون عظام اقل كثافة من الأفراد عديمو النشاط وهذه مشكلة رئيسية للسباحين ذوي وزن جسم ذو معدل واطي والأدنى من المعدل بما ان زيادة وزن الجسم تعمل على بناء العظم .



كثافة العظم تزداد بشكل كبير في اذرع لاعبي كرة التنس.

**ضمور العظم Atrophy**

بينما يستجيب العظم ذو الكتلة الأكبر للجهد الحركي الزائد فانه يعرض استجابة مناقضة للجهد الأقل ،فعندما تكون التوترات العضلية الاعتيادية المسلطة على العظم عن طريق الانقباضات العضلية أو حمل الوزن قليلة فستكون كثافة العظم ونسيج العظم عند التكوين منخفضة وعندها تظهر ظاهرة

ضمور العظم وعند هذه الحالة فان كمية الكالسيوم الموجود في العظم تنخفض و تقلل من وزن وقوة العظم .

إن ظاهرة فقدان كثافة العظم نتيجة الجهد الحركي القليل موجودة بكثرة بين المرضى والأشخاص قليلو الحركة اضافة الى رواد الفضاء.

من وجهة النظر الحركية فان مشكلة ضعف امتصاص المواد المعدنية للعظم تعتبر مشكلة كبيرة ،وبينما تنخفض كثافة العظم فان قوة ومقاومة العظم للإصابة بالكسر ستكون ضعيفة خاصة في العظم ألاسفنجي .

فعندما لا تتحلل مركبات أو عناصر الكالسيوم من نسيج العظم فإنها ستدخل مجرى الدم حيث تقوم الكليتين بتصفيتهما ولذلك فان قلة امتصاص المواد المعدنية عن طريق العظم سيساهم في احتمالية زيادة حصيات الكلى.

نتائج دراسات فقدان الكالسيوم خلال الطيران تشير إلى فقدان الكالسيوم البولي متعلق بالوقت المستغرق خارج مجال الجاذبية الأرضية اما طريقة فقدان العظم فكانت شبيه بشكل كبير لما وثق بين المرضى خلال فترات رقودهم اما بالنسبة لتقارير رواد الفضاء الروس فتشير إلى أن التمرين القوي مثل المشي أو الركض فوق دراجة السير المتحرك يمكن ان تحافظ على صحة العظم في الفضاء لفترات طويلة تصل إلى السنة.

ليس واضحا لحد ألان أي من الآليات المحددة هي المسؤولة عن فقدان العظم خارج مجال الجاذبية الأرضية فالدراسات حول الفئران أشارت إلى إن وبعد سبعة أيام في الفضاء ان نشاط خلايا الهدم (osteoclast ) يبقى ثابتا ، أما بالنسبة لنشاط للخلايا المكونة للعظم خلايا البناء (osteoplasts) فستكون منخفضة بحجم المشكلة التي ستكون مختلفة باختلاف موقع العظم في الهيكل العظمي .

إن الطريقة المنطقية في مقاومة مشكلة فقدان العظم في الفضاء هي محاكاة الجاذبية داخل العربات الفضائية ، لذا استخدمت تقنية واحدة في توليد جاذبية اصطناعية وهي عملية الطرد المركزي وهي عبارة عن عملية إجراء مختبري يقوم بتوليد قوة على أشكال مغزلية عالية ،الفئران التي طبقت عليها التجارب في رحلة الاتحاد السوفيتي 1936الفضائية أظهرت وجود زيادة في كثافة العظم وزيادة في محتوى الكالسيوم في نهاية التجربة.

بقي أن نعرف إن هنالك قياسات أخرى غير التوليد الاصطناعي للجاذبية يمكن ان يحمي العظم خلال الرحلات الفضائية بشكل فعال فبرنامج التمرين المستمر لرواد الفضاء خلال الطيران في الفضاء صمم لحماية فقدان العظم عن طريق زيادة الجهد الحركي المركز على العظام باستخدام القوة العضلية اضافة الى عضلات الجسم التي تسلط بشكل رئيسي قوى الشد على العظم بينما تعطي الجاذبية قوة ضاغطة ولذلك يمكن لا تكون كمية من التمرين البدني وحدها كافية ومعوضة عن غياب قوة الجذب الأرضي .

هنالك علامات استفهام مهمة جدا هو ما مدى كثافة العظم التي يمكن إعادتها عند إعادة دخول رواد الفضاء مجال الجاذبية الأرضية ،فالبحوث في هذا المجال أوضحت إن استرداد كثافة العظم يمكن ان تكون متوقعة وكذلك معدل ومدى اعادة الشفاء يختلف باختلاف الإفراد وموقع العظم فالعظام المشتركة بحمل الوزن بشكل مباشر يمكن ان تكون عودتها سريعة جدا وبدراسة مجموعة من الأشخاص اجتازوا 17 أسبوعا راحة ونوم مستمر اظهروا تغير تام بنسبة 10.4% فقدان في كثافة عظم العقب بعد ستة أشهر فكامل الحمل على العظم الحامل للوزن موضح في الشكل (6-4)

انخفاض في كثافة العظم لفترة من الزمن والتي يقضيها رائد الفضاء خارج الجاذبية أحد المشاكل التي يواجهها رواد الفضاء.

### هشاشة العظام Osteoporosis

إن فقدان كثافة العظم هو فقدان متزايد للكتلة المعدنية للعظم وقوته التي تودي إلى حدوث كسر واحد أو أكثر وهو الاعتلال الجسدي الأكثر في الولايات المتحدة الاميريكية حيث ان انخفاض كثافة العظم هو مشكلة ليست فقط لرواد الفضاء أو المرضى المعدومين من الحركة ولكن للعدد المتنامي للمواطنين الكبار والرياضيات الإناث حيث ان هذه الحالة تبدأ بانخفاض في كثافة العظم دون حدوث كسر في العظم ولكنها تستمر بشكل طبيعي .

تبدأ هشاشة العظام بنقص في الخلايا العظمية ونقص في كتلة العظام بدون وجود كسر وهي الفقدان الزائد لكتلة معادن العظام وناتج القوة في كسر واحد أو أكثر هو خلل في العمليات الكيماوية للعظم .اما ظاهرة هشاشة العظام والتي تعني فقدان كبير في الكتلة المعدنية للعظم فهي من أكثر حالات الاضطراب الايضي شيوعا في الولايات المتحدة الأميركية.

شكل 6-4 عظم الضنبوب هو الأكثر حملا للوزن في الطرف السفلي ، لو إن 88% من كثافة العظم اقرب الى مفصل الركبة ما كمية القوة الضاغطة والتي تؤثر في كل عظم الضنبوب عندما يقف شخص معين يزن 600 نيوتن يقف في وضع تشريحي؟ فما كمية القوة الضاغطة التي تؤثر على كل عظم الضنبوب إذا كان الشخص يحمل ل 20نيوتن كيس من البقاليات ؟

الحل :

الوزن = 600 نيوتن

نستنتج ان الوزن = القوة الضاغطة Fc

المعادلة Fc للركبتين = (600 نيوتن ) ×

2/ (0,88)

Fc على ركبة واحدة = 264 نيوتن

Fc مع حقيبة بقاله = (600 نيوتن

+20 نيوتن ) (0,88) / 2

Fc مع الكيس = 272,8 نيوتن

## اقتران حالة هشاشة العظام بالعمر

## Age–Associated Osteoporosis

معادن العظام تتكدس وتتراكم طبيعيا خلال فترة الطفولة والمراهقة،حتى تصل ذروتها في مرحلة المراهقة المتأخرة أو مرحلة البلوغ المبكر.اما بعد الوصول الى الذروة فلا يتفق الباحثون في عملية تحديد لطول الفترة التي تبقى خلالها كثافة العظم ثابتة .

فيما يتعلق بالعمر فالانخفاض المتزايد لكثافة العظم وقوة العظم في كلا الجنسين رجالا ونساء يمكن أن يبدأ في بواكير العشرين، حيث تفقد العظام تقريبا من 0,5 الى 1 % من كتلتها حتى سن 50 سنة للسيدات او مرحلة انقطاع الدورة الشهرية وكذلك الرجال المسنين ،فتظهر بعد سن اليأس زيادة في معدل فقدان العظم بقيمة تقدر 6.5 لكل سنة تسجل خلال السنوات الخمس الأولى حتى ثمان سنوات.

ان ظاهرة (Osteoporosis) موجودة عند اغلب الناس كبار السن وتصبح منتشرة بشكل متزايد عند العدد المتزايد لكبار السن فأغلبية المتأثرين بهذه الحالة هم النساء كبيرات السن اللائي يتجاوزن سن اليأس والرجال كبار السن سريعو التأثر حيث يقدر إن 90%من الكسور التي تحدث بعد عمر 60سنة متعلقة بحالة هشاشة العظام.

وهذه الكسور واحدة من الأسباب التي تقود الى الموت عند كبار السن والمصطلح المذكور يعني انخفاض في كتلة العظم وقوته عند الاصابة بمثل هذه الحالة.

عادة ما تبدأ الكسور الأولى في الظهور بعد سن اليأس ب 15 سنة حيث تعاني المرأة ضعف ما يعانينه الرجل عند الكسور وخاصة حالات الكسور التي

تحدث في الرقبة وستة أضعاف ما يعانيه الرجل عند الإصابة بالكسور الفقرية لما يعانيه الرجال في نفس العمر.

ابرز الأعراض التي يعانيها المصاب بحالة هشاشة العظام هو الشعور بالآم الظهر الصادر نتيجة حدوث كسر في العظم الاسفنجي في الأجسام الفقرية بشكل اسفين مكون بذلك مايطلق عليه الحداب الصدري kyphosis ويدعى هذا التشوه ( بحدبة العجوز) .

وتعتبر كسور الضغط الفقري مؤلمة جدا ومضعفة وتأثر على حياة الفرد بدنيا ووظيفيا ونفسيا وبينما يفقد العمود طوله و هنالك خدر وتتمل إضافي على قفص الضلع الضاغط على الحوض هناك ما يقدر بـ26%من النساء في عمر الخمسين فما فوق يعانين من كسور الضغط الفقري وبينما يهرم العمود الفقري للرجل فهناك زيادة في قطر الفقرة وذلك كي يودي الى تقليل الشد الضاغط أثناء حمل الورك ولهذا وعلى الرغم من التغيرات في كتلة العظام التي تحدث فان القوة التركيبية سوف لن تنخفض ،السؤال لماذا لا يحدث التغير المشابه في النساء وجوابه غير معلوم.

- ✓ لين العظام (Osteopenia): وهي حالة قلة كثافة المواد المعدنية في العظم والتي تجعل الفرد قريبا من حدوث الكسور لديه.
- ✓ هشاشة العظام (Osteoporosis): وهي علة او حالة اضطراب في كتلة وقوة العظم يمكن ان تسبب حدوث كسر واحد او عدة كسور

**الثالوث الرياضي الأنثوي Female Athlete triad**

إن الرغبة في التفوق الرياضي يمكن ان يدفع الكثير من الرياضيات الإناث لبذل مجهود كبير بهدف زيادة أوزانهن الواطئة الغير مرغوب فيها او اللجوء الى هذا التمرين الخطير يستلزم مراعاة مجموعة من العناصر الاساسية ومنها الأكل المضطرب والطمث اضافة الى هشاشة العظام والتي تعرف بالثالوث الرياضي الأنثوي.

حيث ان 62% من الرياضيات الإناث يتعرضن إلى أساليب أكل غير نظامية ،فنظام الأكل غير المنتظم المطول يمكن ان يودي الى حدوث حالات (anoxia nervosa) و (bulimia nervosa) وهي عبارة عن حالة من عصبية وشراهة في الأكل إضافة إلى الإمراض التي تصيب ما نسبته 1-10% من المراهقات.

ويحصل العجز في الطاقة عندما يتجاوز الانفاق كمية الطاقة المكتسبه عند اتباع نظام غذائي مثل التقييد في الأكل او فوضى الاكل ورغم ان الاكل غير المنتظم ينطوي على كثير من الاختلالات الوظيفية وكذلك السلوك الشاذ للاكل (الاكل لحد التخمه من ثم التقيؤ) والاستمرار عليه يعد من العوامل الخطره المسببه لاضطرابات التغذية ويمكن ان يؤدي هذا الاضطراب لفترة طويلة الى الاصابة في حالة فقدان الشهيةanorexia او الشهية المفرطةbulimia هذه الاصابة التي تؤثر على 1-10 من النساء المراهقات تشمل 15% من وزن الجسم او أكثر دون ادني وزن طبيعي للعمر والطول وخشية كبيرة من زيادة الوزن وتشويه الجسم اضافة الى انقطاع الطمث اما بالنسبة للإصابة بحالة الشهية المفرطة فيجب اللجوء الى استخدام التقيؤ بشكل منتظم واستخدام العقاقير المسهلة والمدررة اضافة الى اتباع برنامج حمية صارم والتدريب العنيف لتجنب حدوث زيادة في الوزن واهتمام أكثر بوزن وشكل الجسم .

العلاقة بين الأكل الغير منتظم وانقطاع الطمث غير مفهومة بشكل جيد ويظهر بان انقطاع الطمث ربما يكون متعلق بانخفاض سمنة الجسم أو التدريب المتزايد فقد سجل ما نسبته 2-5%من النساء في الولايات المتحدة اللائي يعانين من انقطاع الطمث ولكن الانتشار في الرياضات الأنثوية في تصاعد ،وتشير الدراسات حول رياضات المنافسة النسائية في مختلف أنواع الرياضة إلى إن نسبة الإصابة وانقطاع الطمث الابتدائي تصل الى 3.4-66%يصبن بحالة انقطاع الطمث الابتدائي مع تاخر بدء الحيض بعد 16 سنه او الاصابة بحالة انقطاع الطمث الثانوي بغياب ثلاث الى ستة دوائر حيضية متتالية.

ان الربط بين انقطاع الطمث وحالة (osteoporosis) أي قلة المواد المعدنية في العظم هي كذلك غير مفهومة بشكل جيد ولذلك فان العلامة الشائعة تظهر انخفاض في مستوى الاستروجين ،على الرغم من ان مدى تأثير المواد المعدنية للعظم بين الرياضيات الإناث غير معلوم فان نتائج عدم الانتظام عند المرأة الشابة ستكون مأساوية بين أكثر من 200من العداءات الإناث ممن يعانين من انقطاع الطمث فان هنالك 10%اقل كثافة عظم من النساء ذوات انقطاع الطمث الاعتيادي وهذه ذات أهمية خاصة بالنسبة للرياضيات المراهقات وذلك لان 50%من المواد المعدنية للعظم و15% من طول البالغ يتكون طبيعيا في سن المراهقة. وليس غريبا من ان الرياضيات الإناث اللائي يعانين من انقطاع الطمث يمكن ان يسبب نسبة عالية من كسور الإجهاد مع كسور كثيرة مرتبطة بالبداية المتأخرة للطمث (menarche) إضافة الى ذلك فان فقدان العظم الذي يحدث بأنه يمكن ان يكون غير قابلة التغيير وان الكسور المتخلخلة يمكن ان تحطم حالة الوقوف للأبد.

**الوقاية من قلة كثافة وقوة العظم Preventing Osteoporosis**

ان سبب حالة (osteoporosis) غير معروف على الرغم من ان التدريب المنتظم يعزز من امتصاص العظم للمواد المعدنية وصحته فمن الواضح إن العوامل الهرمونية تسلط تأثير هائل وكبير وتعطى انتشار لظاهرة (osteoporosis )عند النساء الإناث اللواتي يعانين من توقف الطمث ،الحمية المختارة وعوامل متعلقة بأسلوب الحياة هي من العوامل المؤثرة على كثافة العظم .

ان المستويات الواطئة لهرمون الاستروجين والمستوى الواطي لهرمون التستيرون في الذكور يعزز فقدان العظم عند الأطفال والبالغين وهناك طريقين يشكل عندهما هرمون الاستروجين ضررا على العظم :

1. يقلل الفعالية التي يمتص عندها الكالسيوم في الجسم .
2. تسهيل إعادة نشاط الخلايا الهادمة للعظام (steoclast) والتي تعمل على امتصاص العظم.

هنالك بعض الأدلة تشير إلى إن امتصاص الكالسيوم المتزايد يولد تأثيرا ايجابي على كثافة العظم عند بعض النساء،في كمية الكالسيوم الممتص لها تأثير ايجابي بواسطة الكاليستوريال (الناشط من فيتامين d) وسلبيا ومن خلال طبيعة الحمية او النظام الغذائي ، فنظام تغذية الكالسيوم ذو أهمية كبيرة خلال فترة المراهقة ولسوء الحظ فان الفتيات الأمريكيات يفشلن في الوصول الى الامتصاص اليومي الموصى به في عمر 11سنة.الغذاء المعتدل وإكمال الكالسيوم يمكن ان يكون مهما جدا لتحسين كثافة العظم بين الفتيات المراهقات في حال عدم كفاءة الحمية الغذائية .

كذلك فان برنامج الحمية الغذائية للكالسيوم هي نافعة جدا للنساء اللائي يتجاوزن عمر 60 سنة وعلى أية حال فخلال ثلاث من العقود الخمسة فان

اغلب النساء لا يرغبن في الاستفادة من ضبط البرنامج الغذائي لعنصر الكالسيوم المهم .

كذلك فان هنالك عوامل أخرى ذات تأثير سلبي في عملية امتصاص المواد المعدنية وكثافة العظم ومنها انقطاع الطمث والتدخين وتناول الكحول والنشاط البدني الضعيف،فيتامين d غير الكافي بنسبة أعلى من المستويات الموصى بها في برنامج تغذية من البروتين والفسفور إضافة إلى تناول الكافيين .

الرياضيات الإناث في رياضات التحمل تتعرض للمخاطرة بتنمية ثالوث الرياضة الأنثوية الخطيرة

إن عملية انقطاع الحيض بعد سن اليأس عند النساء يمكن ان يكون نافعا في استكمالات الاستروجين كما يوصف من قبل الطبيب ،العوامل الجنسية ،تأثر كذلك على كل من كتلة العظم المتحققة ومعدل التغير في كثافة العظم.

- ✓ التدريب المنتظم أوضح بأنه فعال في إحداث موازنة بين العمر وفقدان العظم.
- ✓ النقص في هرمون الاستروجين والتسترون يودي الى تعزيز حالة فقدان الكتلة المعدنية وقوة العظم أي Osteoporosis

البحوث الأخيرة تشير إلى ان مستقبل العوامل الطبية التي تحفز على تشكيل العظم ربما تكون قادرة على الوقاية ومن ثم التخلص من حالة هشاشة العظام وحتى يصبح ذلك حقيقة فالنساء الشابات بشكل خاص يشجعن على زيادة كتلة العظم وتقليل فقدانه عن طريق الانهماك في التدريب المنتظم وتجنب العوامل الحياتية التي تؤثر سلبا على صحة العظم.

## الإصابات الشائعة للعظم Common Bone injuries

فيما يتعلق بالوظائف الحركية المهمة التي تنفذ بواسطة العظم فصحة العظم هي جزء هام من الصحة العامة وصحة العظم يمكن ان تفسد نتيجة تعرضه للإصابات والإمراض.

الكسور (fractures) :هو عملية تمزيق اتصال العظم . طبيعة الكسر تعتمد على الاتجاه والمقدار ومعدل الحمل الحركي إضافة إلى صحة ونضوج العظم عند الإصابة ويمكن ان تصنف الكسور على أنها :

1. بسيطة (Simple) عندما تبقى نهايات العظام داخل الأنسجة الرقيقة المحيطة.
2. كسور مركبة(Compound ) عندما تخرج نهاية واحدة أو كلتا النهايتين خارج الجلد
3. كسور مضاعفة (Comminuted ) اومفتته :عندما يكون معدل الحمل سريع فمن المحتمل حدوث تفتت العظم .
4. الخلع (Avulsions )وهي كسور سببها حمل توتري وعنده يسحب الوتر او الرباط شظية صغيرة من العظم بعيدا عن بقية العظم ويمكن ان تسبب الرمي الانفجاري وحركات القفز ربما تودي الى كسور الخلع الوسطية عند اللقمة الوسطى وعظم العقب في الاستعمال المتزامن للقوى باتجاهات متضادة وبنقاط مختلفة على طول العظم كالعظم الطويل يولد عزم دوران في لحظة الالتواء وبالنتيجة يودي الى كسر العظم ،لحظة الالتواء تتولد على ساق لاعب كرة القدم عندما تنزل على الأرض وتستعمل القوى في عدة نقاط مختلفة على الساق و باتجاهات متقابلة ،وعندما يحدث الالتواء تحصل حالة شد على جانب والضغط على جانب آخر كما نوقشت في الفصل (3) ونتيجة لكون العظم أقوى من مقاومة الضغط أكثر منه الى مقاومة الشد فعندما يدور جسم لاعب التزلج في حالة السقوط فيمكن للأحمال الالتوائية اذ

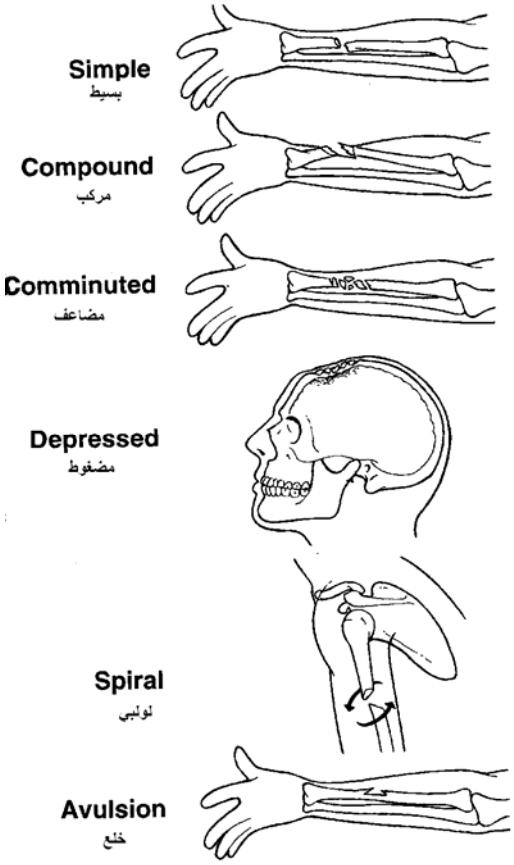
تسبب نوع اخر من الكسور اللولبية في عظم الضنبوب وفي بعض الحالات فان اسلوب التحميل المركب للقوة السطحية وقوة الشد يمكن ان يحدث خلل في الشكل المائل للمحور الطولي للعظم .جانب العظم الذي يتحمل التوتر سيكسر أولا ،عزم الدوران المستعمل على طول المحور الطولي للعظم كان يكون العظم الطويل يمكن ان يسبب الالتواء أو فتل العظم .الالتواء ينتج شد سطحي على طول العظم كما موضح في( فصل 3) وعندما يدور بالتحميل المركب للقوة السطحية والتوتر ينتج فشل في الانحراف الى المحور الطولي للعظم .

- ✓ الكسر (fractures ):يعني تمزيق إيصال العظم.
- ✓ تحت الحمل والثني المتزايد ،العظم يميل الى الكسر في الجانب الحامل للتوتر.

وبما ان العظم هو أقوى في مقاومة الضغط منه الى مقاومة التوتر والقوة السطحية ،فان كسور الضغط الحاد للعظم عند غياب ظاهرة هشاشة العظم ستكون نادرة الحدوث وعلى أية حال فانه وتحت تأثير الحمل المركب فان الكسر الناتج عن الحمل ألالتوائي يمكن ان يكون متأثرا بوجود الحمل الضاغط أيضا .

5.الكسر الضاغط (Depressed ) وهو من الكسور التي تحدث نتيجة نزول شظايا العظم الى داخل الأنسجة السفلية .

وبما ان عظام الأطفال تحتوي على كميات اكبر نسبيا من الكلايكوجين أكثر من عظام البالغين فان عظامهم تكون أكثر مرونة وأكثر مقاومة للكسر تحت ضغط الحمل اليومي من عظام البالغين وبالنتيجة فان الكسور الخضراء أو الكسور غير الكاملة هي كسور شائعة لدى الأطفال وأكثر حدوث مما يحدث للبالغين.وتحدث نتيجة تعرضها للأحمال الالتوائية وأحمال الثني.




شكل(7–4) أنواع الكسور

- ✓ كسور العصا الخضراء (A greenstick fracture) :هي كسور غير كاملة تنتج عن طريق الثني والأحمال الالتوائية.

6.كسور الإجهاد (stress fractures) لذلك تعرف بكسور التعب تنتج من قوى ثابتة بخطوات متكررة أي زيادة في مقدار تردد الحمل ينتج رد فعل يودي الى حدوث ضرر بالغ الدقة فيستجيب العظم لهذا الضرر الدقيق عن طريق إعادة التشكيل، إذ تقوم الخلايا الهادمة (osteoclasts) بامتصاص النسيج المتضرر ثم تقوم الخلايا البانية (osteoplasts) بوضع عظم جديد في المكان ،وعندما لا يكون هنالك وقت لعملية الإصلاح قبل ان يظهر الضرر الدقيق فالحال يمكن ان يتطور الى كسر إجهاد ،وهذا النوع من الكسور يبدأ على شكل تمزق صغير في امتداد الطبقات الخارجية للعظم القشري (coticubone) ولكنه سيكون أسوا بمرور الوقت وفي النهاية يتسبب في تكملة الكسر ألقسري عند العدائين فالمجموع ميال الى حدوث كسور الإجهاد وهنالك حوالي 50% من الكسور تحدث في عظم الضنبوب و20%تحدث في عظم الرسغ،كذلك تسجل كسور عظام الرقبة والحوض بنسبة 16.22%.

من خلال الأشعة نلاحظ عظم الشظية معرض إلى

الزيادة في التدريب وشدته لا تعطي الوقت الكافي لإعادة تشكيل العظم هما السبب الأساس في ذلك اضافة الى ذلك فهناك عوامل أخرى تودي إلى حدوث كسور الاجهاد لدى العدائيين ومنها التعب العضلي والتغيرات المفاجئة في اتجاه الركض وسطح الركض.

**إصابات الطبقة المشاشية Epiphyseal**

حـوالي 10% مـن إصـابات الهيكـل العظمـي الحـادة فـي الأطفـال والمراهقين يمكن ان تصل الى منطقة الصفيحة المشاشية للعظم والتي تعني تغضرف العظم نتيجة تمزق تجهيز الدم مصحوب بنخر النسيج وتغيير كبير في شكل الصفيحة .

اما بالنسبة للنتوءات epiphyses فهي تعني مواقع الاتصال بين الوتر والعظم المكان الذي يتأثر به شكل العظم بالأحمال التوترية عندما تكون خاضعة للتأثير وتسمى الصفائح المشاشية للعظم صفائح الضغط pressure epiphyses.

ويطلق على النتؤاءات بصفائح السحب epiphyese cration بعد حدوث انواع التحميل.

- ✓ إصابات الصفائح المشاشية (epiphyseal) يمكن أن تنهي نمو العظم بشكل مبكر.

## Summary الملخص

العظم هو نسيج حي حركي وظائفه الميكانيكية هي إسناد وحماية أنسجة الجسم الأخرى ويتأثر كنظام عتلات قوي يمكن ان يعالج براعة عن طريق العضلات المترابطة.

قوة ومقاومة العظم للكسر تعتمد على تركيبه المادي وتركيبه التنظيمي، فالمواد المعدنية تساهم في صلابة العظم وقوته والكلاجين يعطي مرونته وقوة المفصلية العظم القشري اصلب من العظم اللحائي وأقوى بينما يكون العظم اللحائي ذو قابلية على امتصاص الصدمة.

العظم هو نسيج حركي بشكل كامل يمكن ان يشكل بصورة مستمرة استنادا الى قانون وولف، وعلى الرغم من ان العظام تنمو في الطول فقط تغلق الصفائح البناءة عند البلوغ ،فكثافة العظام ستتغير بصورة مستمرة واتساع في الحجم والشكل خلال نشاطات الخلايا الهدامة والبناءة.

تخلخل العظام (Osteoprosis) حالة خلل تتميز بالفقدان المتزايد لكتلة العظم وقوته شائعة بشكل كبير عند كبار السن وتؤثر على النساء بعمر مبكر وبشدة اكبر منها عند الرجال وكذلك هي موجودة في الإنذار المتكرر بين الشباب وكذلك الأكل الغير منتظم الرياضيات اللواتي يعانين من انقطاع الدورة الشهرية.

اختبر معلوماتك

1. وضح لماذا تكون عظام جسم الإنسان أقوى في مقاومة الضغط عنها في مقاومة قوة الشد والقوة السطحية.
2. يكون نسيج عظم الفخذ هو الأقوى في مقاومة القوة الضاغطة ما يعادل نصف القوة في مقاومة القوة الالتوائية وخمس قوة مقاومة القوة السطحية shear فإذا كانت القوة الالتوائية8000 نيوتن كافية لإحداث كسر فما هي القوة الضاغطة التي ستولد الكسر ؟ وما مقدار القوة السطحية التي ستحدث الكسر؟ (الجواب قوة الضغط =16.000نيوتن،القوة السطحية =3200نيوتن
3. وضح لماذا تكون كثافة العظم مرتبطة بوزن جسم الفرد.
4. رتب النشاطات الآتية حسب تأثيرها على زيادة كتلة العظم ،الركض،السباحة ،الدراجات،رفع الإثقال،الهوكي والتنس،اكتب نسب ترتيبك.
5. لماذا يكون نسيج العظم منظما بشكل مختلف (العظم القشري مواجه العظم الاسفنجي )
6. ماهي أنواع الكسور التي تحدث نتيجة التحميل المركب والتوترالقوة السطحية بالتتريب)
7. ما هي أنواع الكسور التي تحدث نتيجة التحميل المركب فقط ؟وشخص أنواع الكسور المرتبطة بالأحمال المسببة.
8. ما يقارب 56%من وزن الجسم مسنود بالفقرة المتحركة الخامسة.ما كمية الشد الموجود على مساحة 22سم2 من تلك الفقرة لرجل منتصب

يزن 756 نيوتن افترض ان السطح الفقري هو افقي ،الجواب 19.2 نيوتن/سم2

9. في المسالة رقم 8 ما هو الشد الموجود على الفقرة المتحركة الخامسة إذا كان الفرد حاملا عارضة تزن 222 نيوتن بين كيفيه؟الجواب/2903 نيوتن/سم2

10. لماذا يكون الرجال اقل ميلا للإصابة بكسور الضغط الفقرية من النساء.

11. صف الحركة التي تحدث في مفاصل عند حركة المشي أو الركض.

12. ماهي العوامل التي تساهم في المرونة .

13. كيف ترتبط المرونة بإصابة المفاصل .

14. قارن بين ثبات ومرونة المفصل .

15. ناقش الأهمية النسبية لثبات ومقدرة المفصل على الحركة في الأنشطة الرياضية التالية الجمباز وكرة القدم والفطس والسباحة .

16. برهن ان الطريقة التي تكون فيها العظام التالية محملة عندما يكون الشخص واقفا بوضعه التشريحي وكن دقيقا قدر الإمكان في تشخيص أي جزء منهم يكون أكثر تحميلا

أ- الفخذ
ب- عظم الساق
ت- عظم الترقوة
ث- عظم العضد
ج- الفقرة الثالثة المتحركة

17. ضع مخطط لبرنامج تدريبي تمهيدي يستخدم مع مجموعة من كبار السن اللذين يعانون من انخفاض قوة وكتلة العظم (هشاشة العظم).

18. تأمل حول ماهي التمارين أو الخطط الأخرى التي ممكن استخدامها في الرحلات الفضائية لحماية رواد الفضاء من فقدان كثافة المواد المعدنية للعظم عندهم .

19. كيف تتكيف عظام الطيور والأسماك لطرق التنقل والحركة.

20. لماذا تكون برامج الأكل الصحية مهمة لماذا يكون الرجال أكثر ميلا من النساء للإصابة بهشاشة العظم وقوة العظم وكتلة الماد العدنية

21. برهن ان قابلية العظم عل مقاومة الضغط والقوة المسلطة عليه بالمقرنة مع نفس الخصائص للخشب والفولاذ والبلاستك .

22. عندما تمتص قوة الصدمة بواسطة القدم تتأثر الأنسجة الرقيقة في المفاصل لتقليل كمية القوة المنقولة الى الأعلى خلال النظام الهيكلي إذا خفضت القوة المؤثرة عل القدم 1875 نيوتن منخفضة 15% بواسطة أنسجة مفصل الكاحل و45% عن طريق أنسجة مفصل الركبة فما هي القوة المنقولة الى الفخذ الجواب 750 نيوتن .

23. ما مقدار الضغط المسلط على عظم الكعبرة في مفصل المرفق عندما تنحرف العضلة العضدية ذات الرأسين بزاوية 30درجة بالنسبة لعظم الكعبرة المحيط مسلطة عليه قوة التوائية قدرها 200 نيوتن . الجواب 173 نيوتن .

24. اختر شكل تشريحي واعد مشاهدة هيكل الإنسان ثم اختر عظم محدد من كل أربع أنواع ووضح كيفية تناسب شكل وحجم العظم وتركيبه الداخلي مع وظيفته البيوميكانيكية

25. اختر ثلاث عظام عل الشكل التشريحي وادرس شكل كل عظم وما الذي يشير إليه شكل العظم حول المواقع المحتملة لنقاط تماس الرباط بالعضلة التي تبذل فيها العضلات للقوة .

26.استخدم أنبوبة ورقية تمثل عظم طويل ثم اضغط عل الانبوبة بتحميلها بالأوزان حيت تلتوي استخدم نظام الماسكات والبكرة اعد التجربة بتحميل الأنبوب في الشد والقوة السطحية سيفشل بشكل متزايد سجل الوزن الذي يفشل عنده الأنبوب واكتب قطعة إنشائية لمناقشة نتائجك واربطها بالعظام الطويلة

27.استخدم ورق سميك (كارتون مقوى) والصقها بتراكيب أقراص غسيل شبيهة بما موجود في العظم الاسفنجي استخدم عل الأقل ثلاث مربعات صغيرة لتسع خلايا بعد ان يجف اللصق واستخدم المقصاة لقطع جدران خليتين عشوائيتين .في كل مربع وجدران أربع خلايا مختارة بشكل عشوائي مع أي مربع آخر تاركا المربع الأخر سليما حمل متزايد لكل ثلاث مربعات حتى تلتوي المادة وسجل الوزن التراكيب الباهتة وناقش نتائجك واربط التجربة بفصل العظم اللحائي في انخفاض كتلة وقوة العظم أي حالة هشاشة العظم.

28.اذا حشرت كلتا العضلتين الداليتين deltoids بزاوية مقدارها 60 درجة على عظم وولدت كل عضلة منهما قوة بمقدار 100 نيوتن فما مقدار القوة التي تؤثر عموديا على عظم الفخذ ؟(الجواب 173,2 نيوتن)