الفصل الرابع

النسيج الضام
Connective Tissue

تشكل أنواع عديدة من النسيج الضام إضافة إلى العضلات الهيكلية الجهاز العضلي الهيكلي Musculoskeletal system . للنسيج الضام أدواراً وظيفية هامة ومتنوعة تنعكس على تركيبها . العظم نفسه هو المكون الأكثر أهمية للجهاز الهيكلي . الأنواع الأخرى للنسيج الضام هي :

- الغضروف (يوجد عند نهايات العظم وله أدواراً أخرى متنوعة داخل الهيكل العظمي) .
- أدمة الجلد Derma (الجلد Skin) .
- الوتر Tendon (يربط العضلات بالعظام) .
- الرباط Ligament (يربط العظام معا عند المفاصل) .
- اللفافة Fascia (شكل من الجلد الداخلي يحيط بالعضلات ويفصل بين مجاميع العضلات) .

تحتوي جميع هذه الأنسجة نسبياً على خلايا أقل وكثير من المادة بين الخلالية Extracellular material . وسبب اختلافها هو أنواع الخلايا

الموجـودة بداخلـها . فمثـلاً ، الغـضروف يحتـوي علـى خـلايا غـضـروفية Chondrocytes ، الـوتر يحتـوي علـى خلايـا وتريـة أو Tenocytes . ترتكـز الخلايـا داخـل سـداة Matrix خـارج الخـلايا تتكـون مـن خليـط مـن أليـاف " ومـادة أساسـية Ground substance ". يتماسـك خليـط الأليـاف الكولاجينيـة والمطاطـة معـاً بواسـطة المـادة الأساسـية والـتي تعمـل مثـل الغـراء . تتركـب المـادة الأساسـية فعليـاً مـن بروتينـات جلايكوليـة Proteogilcans (مركبـات تحتـوي علـى مكـونات من كلا البروتين والكربوهيدرات) ، بروتينات ، ماء ومواد مذابة .

تختلـف أنـواع النـسيج الـضام طبقـا لنـسب الأليـاف المطاطـة والكولاجينيـة ولترتيـب أنـواع الأليـاف بداخلـها . تترتـب الأليـاف في الأوتـار والأربطـة في تـواز ، بينمـا يوجـد في الغـضروف الزجـاجي Hyaline cartilage طبقـات تترتـب فيهـا الأليـاف إمـا موازيـة أو عموديـة لـسطح المفـصل . الكـولاجين هـو العنـصر الليفي لجميـع أنـواع النـسيج الـضام ويـساهم في قـوة الـشد للنـسيج . في الحقيقـة ، وزنـا بـوزن ، فـإن الكـولاجين قـوى مثـل الـصلب . تكـسب الكميـات الكـبيرة مـن الإلاسـتين Elastin النـسيج صـفات جـودة المطاطيـة والمرونـة . تحتـوي الأربطـة في رقـاب جميـع حيوانـات الرعـي علـى نـسب عاليـة مـن الإلاسـتين ، ومـع ذلـك يوجـد قليـل مـن الإلاسـتين في الأوتـار والجلـد . تمـنح البروتينـات الجلايكوليـة النـسيج الـضام المقاومـة للقـوى الـضاغطة . هكـذا ، يحتـوي الغـضروف المفـصلي (الزجـاجي) الموجـود عنـد نهايـات العظـام علـى كميـات عاليـة مـن البروتينـات الجلايكولية .

الأوتار والأربطة

Tendons and Ligaments

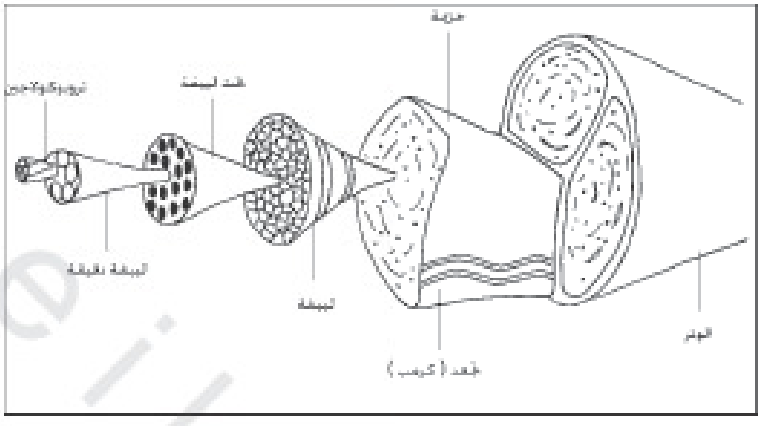
تصل الأوتار العضلة بالعظام وتنقل القوى المولدة عن طريق العضلة المنقبضة إلى العظم لكي تنتج الحركة عند المفصل أو ببساطة لكي تدعم المفصل . يدعم الوتر القابض الإصبعي السطحي Superficial digital flexor tendon مفصل الرمانة Fetlock (تنوء في مؤخر قائمة الفرس) في الحصان المنتصب ، تنقل قوى العضلات القابضة إلى الأصبع ويعمل كلولب بيولوجي Biological spring ، ويقلل بفاعلية كلفة الطاقة للتحرك ولاشك يساهم في سرعة الحصان العالية . يكون الوتر القابض الإصبعي السطحي عرضة للضرر استناداً إلى مسؤوليته الوظيفية وكذلك موضعه داخل الأطراف . عندما يضرب القدم الأرض ويهبط مفصل الرمانة ، يُتطلب أن يتمدد الوتر ممتصاً الطاقة قبل ارتداد وإرجاع هذه الطاقة إلى الطرف . بينما يجب على الوتر أن يكون مطاطاً بدرجة كافية ليعمل كلولب في هذه الطريقة ، فليس من الضروري أن يكون مطاطاً مرناً للغاية لكي يصبح قادراً على تدعيم مفصل الرمانة بفاعلية . أثناء الجري السريع فإن قوة النزول على مفصل الرمانة كافية لتنتج أقصى تمدد والرمانة على وشك أن تضرب الأرض . عند هذه النقطة ربما يتمدد الوتر كثيراً حتى ٨ سم ! لأنه التركيب الأكثر سطحياً في الجزء الراحي (البيني Rear) للطرف الأمامي ، ويكون الوتر القابض الإصبعي السطحي عرضة أيضا للضرر الذي يحدثه ارتطام الطرف الخلفي عليه حينما يكون الحصان في حالة عدو سريع أو قفز .

انعكاساً لأهمية دورها في تدعيم مفصل الرمانة Fetlock وعملها كلولب فعال، تميل الأوتار القابضة أن تكون أقوى وأصلب من الأوتار الباسطة مع ذلك ، تختلف مساحة وشكل القطاعات العرضية للأوتار إلى حد بعيد بين الأوتار وبين الخيول الفردية . مساحة المقطع العرضي للوتر القابض

الإصبعي السطحي هي تقريباً ١٤٠ مم٢ في الأنواع الأصيلة المسنة ، بينما تلك للوتر القابض الإصبعي العميق Deep digital flexor tendon (DDFT) هي ١٥٠–١٩٠ مم٢ تقريباً . مساحة المقطع العرضي للرباط المعلق هي ١٥٠–٢٠٠مم٢ تقريباً وتلك للوتر الباسط الإصبعي العام Common digital extensor tendon (CDET) مجرد ٢٥–٣٠ مم٢.

خمسة وتسعون بالمائة من الكولاجين في الأوتار هو كولاجين من نوع I . تتألف الأوتار من ليفات دقيقة كولاجينية موجهة طولياً ومكونة من بروتين تروبوكولاجين Tropocollagen (الشكل رقم ٤,١) . وتزداد قوة الأوتار عن طريق الاتصال العرضي بين جزيئات الكولاجين المتداخلة . توجد الليفيات الدقيقة وتحت الليفيات في حزم داخل الليفيات . يوجد نوعان من تجمعات الليفيات على أساس مساحة المقطع العرضي لبعضها حوالي ٣٥–٤٠ نانومتر في القطر ، وللآخر حوالي ١٦٥–٢١٥ نانومتر . تحاط الليفيات بقدر قليل من مادة بين خلوية غير كولاجينية تشتمل على بروتينات جلايكولية وجلايكوجين بروتيني ، جليكوبروتينات والإستين والخلايا الوترية Tenocytes وأيونات وماء . تميل الخلايا الوترية (أورومات الخلايا الليفية Fibroblasts ، Tenocytes) أن تترتب على طول المحاور الطولية . الخلايا الليفية هي الخلايا الوترية " النشطة " والتي تنتج المادة البين خلوية Matrix للوتر .

تُعرف مجاميع الليفيات باللفائف Fascicles والتي تترتب الليفيات بداخلها في لولب حلزوني . في حالة تفريغ الحمولة Unloaded state يكون مظهر الليفيات متموجاً يعرف بالتجعيد Crimp والذي يساهم في مطاطيتها . كلما كانت زاوية التجعيد أكبر كلما كان الوتر أكثر مرونة . تختلف زوايا التجعيد (الكرمب) خلال القطاع العرضي للوتر ، فتبدو الألياف المركزية بأقل تجعيد في الألياف الطرفية ، على وجه الخصوص في الخيول المسنة ، وهكذا يظهر أن الوتر يفقد مطاطيته مع التقدم في العمر .



الشكل رقم (٤,١). تركيب الوتر

يكون التركيب الإجمالي للرباط مشابهاً جداً لمثيله للوتر ، مع فروق معينة تعكس دور الرباط في التزويد بالمقاومة للقوى التي تعمل على المفاصل لكي تحافظ على سلامة Integrity المفصل . تحتوي الأربطة على الإستين أقل من الأوتار بينما يبدو المكون الخلوي للأربطة أكبر من مثيله للأوتار ، تعرف الخلايا في الأربطة بالخلايا الليفية Desmocytes .

العظام
Bones

ماذا تشبه العظام ؟ What do Bones Look Like ?

يوجد بالعظم الطويل اليافع النموذجي المناطق التالية (الشكل رقم ٤,٢) :

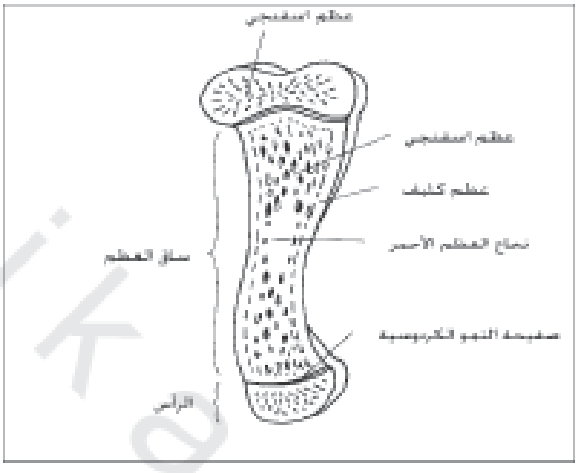
- الساق أو القصبة .
- الرأس .
- الكردوس (جسم العظم البعيد) .

يحتوي كل كردوس على صفيحة نمو كردوسية Epiphyseal growth plate (أحياناً يطلق عليها الصفيحة الكردوسية Metaphyseal plate ولكنهما نفس الشيء) . صفائح النمو هي النقاط الوحيدة والتي يستطيع العظم من عندها أن ينمو في الطول . يتركب العظم نفسه من نوعين من النسيج العظمي : عظم كثيف Dense (أو متضغط Compact) ويوجد على الناحية الخارجية لساق العظم ، وعظم إسفنجي Spongy (أو سامي البنية Cancellous) ويوجد داخل ساق العظم . ويُحدد العظم الكثيف بغشائين ، السمحاق العظمي الخارجي Periosteum على السطح الخارجي ، والسمحاق العظمي الباطني على السطح الداخلي .

يتركب العظم الإسفنجي من نفس مادة العظم الكثيف ولكن ليس له نفس الترتيب التركيبي أو القوة . يدعى العظم الإسفنجي هكذا ؛ لأنه مليء بالتجاويف . تمتلئ التجاويف بنخاع العظم الأحمر Red bone marrow المسؤول عن إنتاج خلايا الدم الحمراء ، وخلايا الدم البيضاء والصفائح الدموية . في الحيوانات الصغيرة تحتوي جميع العظام على نخاع عظم أحمر ، ولكن عند البالغين ، تنتج خلايا الدم الحمراء فقط من مناطق معينة من الهيكل هي الحوض والضلوع والقص وعن طريق النخاع في النهايات البعيدة للعظام الطويلة .

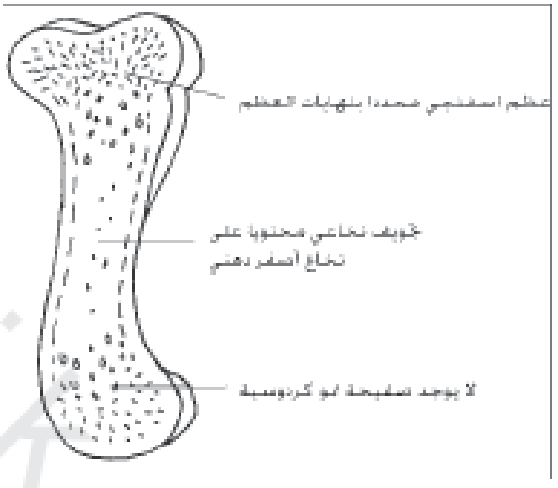
يحاكي التركيب الأساسي للعظم الطويل الإسطوانة وتُمنح قوته عن طريق شكله الهندسي الخاص . الإسطوانة أفضل عند تدعيم الوزن حيث تعمل إلى أدنى محوره الطولي من عبر محوره العرضي وتوجه العظام الطويلة لكي تمنح أكبر قوة ميكانيكية ممكنة لأي كتلة عظمية محددة . ليس العظم كثيفاً في كل مكان ؛ لأن ذلك يزيد بضخامة كتلته بالنسبة لزيادته القليلة في القدرة على تحمل العبء . لاحظ أيضاً أن نهايات العظم ذات اتساع طفيف تدريجي نحو الخارج ، مع زيادة في مساحة المقطع العرضي للعظم عند النقاط حيثما تشكل مفاصل مع العظام الأخرى . مرة ثانية ، فإن

هذا يقلل الإجهاد الموضعي على العظم ويزيد من مقدرته لتحميل القوى المنصبة عليه ، بالإضافة إلى عملة كمواقع لالتحام الوتر والرباط .



الشكل رقم (٤,٢). عظم طويل غير ناضج نموذجي .

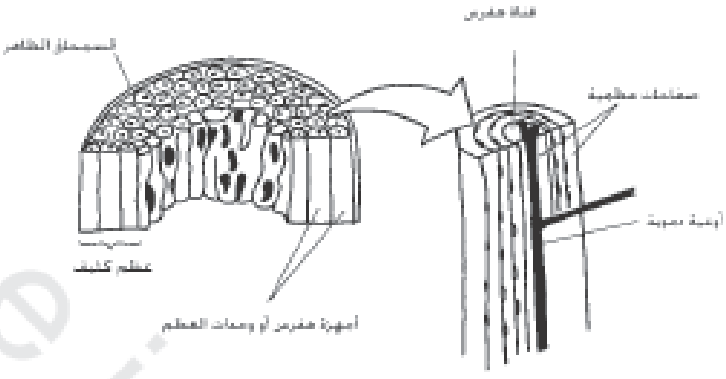
خلال حالة عدم النضج ومروراً بحالة النضج (الشكل رقم ٤,٣) تنمو العظام ليس فقط في الطول ولكن في " الحجم " أو مساحة المقطع العرضي ، ويكون هذا عادة مصحوباً بزيادة في سمك القشرة Cortex كما في الطبقة الخارجية للعظم الكثيف . يتشكل التجويف النخاعي المحتوى على نخاع أصفر دهني بمجرد وجود العظم الأسفنجي ونخاع العظم الأحمر . وهذا يعني أنه في العظم الأسفنجي يوجد فقط عند نهاية ساق العظم . ربما يكون التغير الأكثر أهمية وذلك الذي يشير بوضوح إلى " شيخوخة العظم " هو اختفاء صفيحة النمو وما يمنع أي نمو إضافي طولي . يطلق على هذه العلمية غالباً " غلق Closing " صفائح النمو ويمكن اكتشافها بواسطة التصوير الإشعاعي Radiography (أشعة أكس = X – ray) .



الشكل رقم (٤,٣). العظم الناضج .

التشريح الدقيق للعظم Microanatomy of Bone

يتركب العظم الكثيف من تراكيب مرتبطة جداً تدعى أجهزة هافرس Haversian systems أو وحدات العظم Osteons . جهاز هافرس عبارة عن سلسلة من حلقات ذات مركز عام تدعى صفائح Lamellae عظمية . يوجد لكل جهاز هافرس قناة مركزية والتي تمير خلالها الأعصاب والأوعية الدموية (الشكل رقم ٤,٤) . تتفرع القنوات المركزية لتشكل قنوات أصغر تدعى فجوات أو محافظ Lacunae (تعني البحيرات الصغيرة) ، والتي تشاهد في كل مكان من جهاز هافرس . تتصل الفجوات ببعضها بقنيات Canaliculi وهي أصغر من القنوات . هذا الترتيب من الشبكات داخل العظم مشابه لنظيره في الشرايين ، والشرينات والشعيرات الدموية داخل الدورة العامة . يمكن امتداد شبكة القنوات خلال العظم الأوعية الدموية الصغيرة للغاية والأعصاب من الوصول إلى خلايا العظم المفردة .



الشكل رقم (٤,٤). أجهزة ها فرس

يختلف العظم عن أنواع النسيج الضام الأخرى في أن المادة بين الخلوية Extracellular matrix مزودة بأملاح غير عضوية . هذا المكون الفريد للعظم هو الذي يجعل العظم أصلب من الأشكال الأخرى للنسيج الضام . تكون الأملاح غير العضوية في شكل هيدروكسي أباتيت Hydroxyapatite وصيغته الكيميائية $Ca_{10}(PO_4)(OH)_2$. تحتوي بللورات هيدروكسي أباتيت على كالسيوم وفوسفور بنسبة ١:٢ تقريباً ، وهذا هو السبب المنطقي لتزويد عليقه الحصان بالكالسيوم والفوسفور بنسبة ١:٢. يعطي الجزء غير العضوي للعظم صلابته، وإذا ما نزعت عن طريق نقع العظم في حمض مخفف ، يصبح العظم مرناً بدرجة كافية ليربط في عقدة ! وإذا أزيل الجزء العضوي يصبح العظم هشاً كلية ، لذا يعطي الجزء العضوي المرونة للعظم .

الخلايا العظمية Bone Cells

خلايا العظم مسئولة عن الانقلاب (إعادة التنظيم) الثابت للعظم وهي مفيدة أو ذات أثر في إصلاح العظم إذا حدث أذى أو ضرر . يوجد ثلاثة أنواع مختلفة من الخلايا العظمية (الشكل رقم ٤,٥) :

١– الخلايا بانية العظم Osteoblasts

الخلايا بانية العظم هي الخلايا المكونة للعظم وتوجد بالقرب من كلا سطحي العظم الكثيف ، محددة السمحاق العظمي الظاهر والسمحاق العظمي الباطن . تصنع هذه الخلايا وتسبب انبثاق الكولاجين والبروتينات الجلايكولية التي تشكل المادة بين الخلوية للعظم . تصبح المادة بين الخلوية مشبعة بالمواد المعدنية خلال فترة أيام . عندما يحيط العظم المُمعدن بالخلايا بانية العظم فإنها تقلل تدريجياً معدل إنتاج المادة بين الخلالية حتى تتحول إلى خلية عظم Osteocyte .

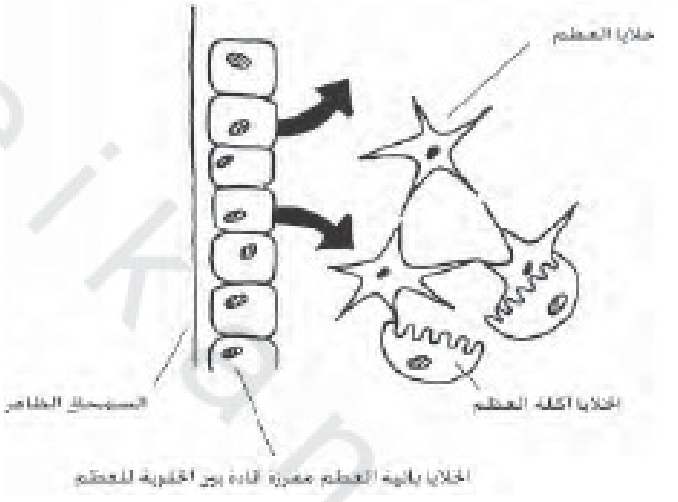
٢– خلايا العظم Osteocytes

خلايا العظم هي خلايا بانية للعظم ناضجة توجد عند أو بالقرب من المحافظ العظمية . وتلعب هذه الخلايا دوراً هاماً في الإشارات بين الخلايا وبعضها ، وتحس بالتغيرات في البيئة الميكانيكية وترسل الإشارات إلى الخلايا بانية العظم والخلايا الماصة للعظم لكي تحور أنشطتها . ولهذه الخلايا زوائد طويلة يمكنها عن طريقها نقل المواد الغذائية (أساساً الكالسيوم) إلى مناطق مختلفة داخل العظم ومن المادة بين الخلوية إلى حجيرات السائل بين الخلايا داخل العظم .

٣– خلايا العظم الشائخة Osteoclasts

تهضم خلايا العظم الشائخة الكولاجين في مادة بين الخلايا للعظم مستعملة إنزيمات مثل كولاجينيز Collagenase ، وإنزيمات الأجسام الحالة Lysosomal enzymes والفوسفاتاز . عن طريق هضم التراكيب الأساسية الداعمة للمادة بين الخلالية للعظم ، حيث الخلايا آكلة العظم تشق طريقها خلال العظم مفرزة الكالسيوم والفوسفور إلى السائل بين الخلايا . ربما يبدو غير عادياً وجود خلايا غرضها الوحيد هو تحليل التركيب الفعلي للعظم ، لكن خلايا العظم الشائخة لها دور

مهم للغاية في " ترميم " وإصلاح العظم بالإضافة إلى الإمداد المعدني Mineral pool داخل العظم والذي يعمل كإمداد جاهز للكالسيوم إذا ما انخفض مستوى الكالسيوم الحر في الدم .

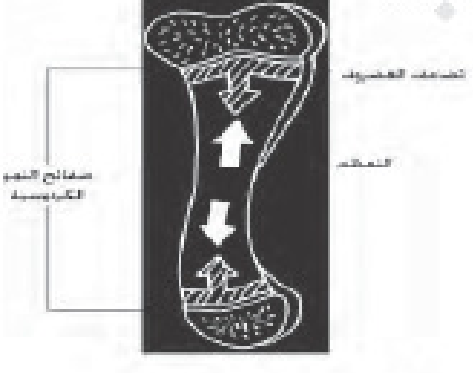


الشكل رقم (٤,٥). الخلايا العظمية .

نمو العظم Bone Gowth

يُعرف النوع السائد لتكون العظام الذي يحدث طبيعياً في الجسم بالتعظم Ossification داخل الغضروف . هذه هي العملية التي يحدث بها النمو عند الصفائح الكردوسية . يتضمن التعظم داخل الغضروف وضع المعادن على التركيب الغضروفي الأساسي الموجود عند نهايات العظام الطويلة . يتضاعف الغضروف الكردوسي عن طريق إنتاج خلايا غضروفية Chondrocytes وهذا يؤدي إلى دفع ساق العظم بعيداً عن الرأس (الشكل رقم ٤,٦) . يحدث بعد ذلك التعظم للغضروف الجديد ليكون العظم . مع بلوغ ونضج العظم، فإن معدل التعظم يتخطى معدل التضاعف وتُغلق صفائح النمو . تُغلق صفائح النمو الكردوسية عند مراحل مختلفة في حياة الحصان

اعتماداً على العظم الذي تتواجد فيه . بصفة عامة ، فإن العظام البعيدة (الموجودة عند النهايات البعيدة من الأطراف) تغلق صفائح النمو فيها بشكل أكبر من نظيرتها الأقرب إلى الجسم ، فتغلق صفائح النمو لعظمة الوظيف Cannon bone عند ٩-١٢ شهراً بينما تغلق تلك لعظمة القصبة Tibia بعد حوالي ثلاث سنوات ونصف . وآخر العظام بلوغاً الموجودة في العمود الفقري . يبدو أن غلق صفيحة النمو يرتبط بكثافة التأثير أو العبء الذي يقع على العظم ؛ لأن العظام الأكثر بعداً والتي تكون عرضة نسبياً لتأثير كبير من الأعباء تميل إلى الإغلاق مبكراً . وبالمثل ، عند وضع إجهاد ميكانيكي كثيراً للغاية على عظم غير ناضج قد يؤدي إلى غلق صفائح النمو قبل النضج . يمكن أن يحدث غلق مبكر لصفيحة النمو لأسباب عديدة لكن زيادة الوزن لصغار الحيوانات أو الشباب يجعلهم عرضة لذلك ، خاصة إذا طلب منهم العمل . إذا كان للحصان أطرافاً جيدة التكوين واتزان أقدام جيد ، ستغلق صفيحة النمو بانتظام ، ومع ذلك فإنه عند بعض الصغار قد يؤدي العبء غير المنتظم لصفيحة النمو ، أو لسبب بنية ضعيفة أو لضرر قد يؤدي إلى غلق غير منتظم (متقطع) لصفيحة النمو وإلى تشوه دائم لطرف بارز العظام (انحراف الطرف في المستوى الجبهي) .



الشكل رقم (٤,٦). العظم داخل العضروف .

إعادة تشكيل العظم Reshaping the Bone

لكل عظمة قالب أو إطار للشكل والحجم المحدد مسبقا طبقا للتركيب الوراثي للحصان . يحدث نمو العظام عند كلاً من صفائح النمو للعظم ، بتلك الوسيلة يزداد طوله ، وأيضاً داخل ساق العظم ، مؤدياً إلى زيادة في محيط العظم . ينتج عن نمو العظم إضافة إلى ما سبق زيادة في الطول يمكن أن تدعى التجسيم (النمذجه) Modelling . يؤدي التجسيم إلى زيادة صافية في كتلة العظم تعرف بطريقة أخرى بفرط النمو Hypertrophy . يحدث التجسيم على أسطح الأغلفة العظمية الظاهرة والباطنة ، مسبباً زيادات في عرض العظم عن طريق إضافة مادة العظم إلى الأسطح الخارجية للعظم الكثيف . يُفرز أولاً سداة للعظم بواسطة الخلايا بانية العظم ، ثم ترسب معظم المعادن خلال ٦-١٢ ساعة بعد ذلك . لا تكتمل عملية التمعدن Mineralization بشكل كامل قبل ١٠ أيام . بمجرد اكتمال التمعدن ، بمعدل٦٠-٧٠ ٪ معدن بالكتلة ، تحيط سداة العظم Bone matrix بالخلية بانية العظم والتي تتوقف بعد ذلك عن إنتاج المادة بين الخلوية وتصبح خلية عظم .

تصف إعادة النمذجة Remodelling إعادة تنظيم العظم Bone turnover. العظم متأقلم إلى حد معين ، ويستطيع أن يحدث بعض التعديلات لحجمه وشكله عن طريق إعادة النمذجة (إعادة البناء) بالضبط مثل صنع التماثيل بالصلصال ويمكن أن تضاف أو تزال أجزاء من التركيب للوصول إلى الشكل المرغوب . يتم نزع العظم بواسطة خلايا العظم الشائخة ، بينما تنجز إضافة العظم بواسطة الخلايا بانية العظم : بهذه الطريقة فإن مادة العظم يعاد تدويرها باستمرار . تأخذ إعادة بناء العظم وقتاً أطول من مرحلة النزع الأولية ، لذا إذا وجد معدل مرتفع من إعادة النمذجة في العظم ككل أو منطقة محددة من العظم ، سوف يمتلئ العظم واقعياً بثقوب قليلة حتى يتم إعادة تكوين

مادة العظم كاملة . عندما تبدو إعادة النمذجة تاركة العظم في حالة قابلة للعطب (سريعة التأثر) ، تبدو مثل آفة غير ضرورية لحد ما ، ومع ذلك فهي بالتأكيد ضرورية لثلاثة أسباب :

١– إصلاح العظم : تسمح عملية إعادة النمذجة بتنظيف نسيج العظم التالف في حالة الأنواع المختلفة من الكسور الثانوية والرئيسة والمتبوعة بإعادة التكوين لنسيج عظمي جديد كامل يتعذر تمييزه عن التركيب الأصلي .

٢– تحسين و/ أو تكيف النمو الأصلي الضئيل: يمنح إعادة تنظيم العظم المرونة للتركيب العظمي ، وهو أمر مفيد عندما تتغير بشكل كبير المتطلبات الطبيعية على العظم خلال الحياة . تم التعرف على مقدرة العظم على التكيف واستجابة للمتطلبات الوظيفية لأول مرة بواسطة Julius Wolff in the 1870s .

٣– الثبات الذاتي للكالسيوم : يوجد تسعة وتسعون بالمائة من كالسيوم الجسم داخل الهيكل العظمي . والكالسيوم مادة غير عضوية هامة للغاية ويدخل ضمن عمليات متنوعة مثل تخثر الدم والانقباض العضلي وفعل الهرمون والإنزيم . يطلب من الهيكل العظمي غالباً أن يتخلى عن بعض هذا الكالسيوم في أوقات الحاجة ولذا فإن تلك الوظائف الضرورية لا تُعرض للخطر. تعني إعادة النمذجة أنه يوجد مخزن دائم للكالسيوم داخل تركيب العظم والذي يمكن أن يستعمل عند خفض كالسيوم الدم .

لا يوجد في الحيوان الذي يتناول تغذية كافية من حيث المحتوى المعدني أي فقدان خالص في العظم خلال عملية إعادة النمذجة مع الحيطة في أن العظم محمل بدرجة كافية . يجب أن يتوفر حد حرج أدنى من الإجهاد كمتطلب إذا ما أريد الحفاظ على كتلة العظم كما في حالة خفض هذا المستوى الحرج أو نقص نهائي في كتلة العظم . قد يحدث ذلك لو لم يُسمح للحصان أن يتحرك بحرية ، كما في الفترات المطولة أثناء الراحة داخل الصندوق ، أو إذا لم تكن الأطراف قادرة على تحمل الوزن .

يتعرض رواد الفضاء لفترات طويلة من نقص الوزن Weightlessness ويعانون مشاكل الفقد في كتلة العظم . عندما نكسر رجلاً Leg وتمسك بجبيرة العظام ، فتميل كتلة العظم (وكتلة العضلات أيضاً) إلى التناقص . وبمجرد السماح للطرف أن يتحمل الوزن ثانية فإن كتلة العظم تُسترد ببطء . بعد الكسر ، يجب أن ينمى مستوى الجهد البدني بحذر ؛ لأن العظم في هذه المرحلة يكون حساساً (سريع التأثر). بينما يلزم مستوى عتبة للنشاط للمحافظة على كتلة العظم ، حتى يستطيع التحميل أثناء البرنامج التدريبي فعلياً أن يؤدي إلى اكتساب نهائي في كتلة العظم كما سنرى في الفصل الثامن . عند المعدلات العادية لإعادة النمذجة ، يمكن استبدال محتوى الكالسيوم الكلي للهيكل العظمي الناضج كل ٢٠٠ يوم .

KEY POINTS **نقاط مفتاحيه**

- تألف الجهاز العضلي الهيكلي من النسيج الضام (العظم ، الغضروف والأربطة والأوتار) والعضلات الهيكلية .
- تختلف الأنسجة الضامة في نسب الإلاستين والكولاجين وهذا يحدد خصائصها ويرتبط بوظائفها .
- تصل الأوتار العضلات بالعظام وتنقل القوى المولدة عن طريق العضلات لتفعل الحركة .
- يجب أن تكون الأوتار مطاطة بدرجة كافية لتعمل كلولب ، لكن مازالت قادرة على تدعيم الأطراف .
- تصل الأربطة العظام معاً وتساعد في تثبيت المفاصل .
- تركيب الأربطة مشابه للأوتار، لكن تحتوي على الاستين أقل .

تابع نقاط مفتاحيه

- يتركب العظم من نوعين أساسين من الأنسجة — العظم الكثيف أو الأصم والذي يوجد على السطح الخارجي للساق والعظم الأسفنجي أو مسامي البنية والذي يوجد على السطح الداخلي لساق العظم .
- يتركب كل من العظم الإسفنجي والكثيف من نفس المادة ولكن تكون المكونات أكثر ترتيباً في العظم الكثيف .
- يسمى العظم الإسفنجي هكذا لأنه يحتوي على " تجاويف " والتي تلائم نخاع العظم الأحمر والذي ينتج خلايا الدم الحمراء والبيضاء والصفائح الدموية .
- تنمو العظام في كل من الطول والحجم (مساحة المقطع العرضي) ويتم نضج العظم عندما تختفي أو تغلق صفائح النمو .
- يختلف العظم عن الأنواع الأخرى من النسيج الضام ، لأن مادته بين الخلوية مزودة بملح غير عضوي يعرف بهيدروكسي أباتيت .
- الهيدروكسي أباتيت هو خليط من الكالسيوم والفوسفور بنسبة ١ : ٢ ويعطي العظم صلابته .
- خلايا العظم مسؤولة عن النمو وإعادة التنظيم والإصلاح .
- الخلايا بانية العظم هي الخلايا المكونة للعظم وخلايا العظم هي المسؤولة عن التبادل الغذائي ، تستطيع خلايا العظم الشائخة أن تهضم المادة بين الخلوية للعظم مفرزة الكالسيوم والفسفور ، فهي هامة في إعادة بناء العظم وتعتبر مصدراً للإمداد بالكالسيوم للأنسجة والأعضاء الأخرى في أوقات النقص الغذائي أو الاستعمال المفرط .

• يُعرف النوع السائد لتكوين العظم طبيعياً الذي يحدث بالجسم بالتعظم داخل الغضروف . هذه هي العملية التي يحدث بها النمو عند الصفائح الكردوسية (صفائح النمو) .

تابع نقاط مفتاحيه

• بصفة عامة ، تغلق صفائح النمو للعظم البعيدة أكبر من تلك الموجودة بعظم قريب .

• تغلق صفائح النمو لعظمة الوظيف عند حوالي ٩-١٢ شهراً من العمر بينما تغلق تلك لعظمة القصية عند حوالي ثلاث سنوات ونصف سنة . عظام العمود الفقري هي من بعض العظام التي تنضج بشكل متأخر .

• نمو العظم غير تلك التي ينتج عنها زيادة في الطول يمكن أن يطلق عليها النمذجة Modelling . ينتج عن النمذجة زيادة صافية في كتلة العظم والتي تعرف بطريقة أخرى بفرط النمو Hypertrophy .

• يعتبر العظم متأقلماً لحد معين ويمكن أن تجرى بعض التحويرات في حجمه وشكله عن طريق إعادة النمذجة Remodelling .

• قد تجعل إعادة النمذجة (البناء) العظم أضعف وكلها ضرورية لإصلاح العظم ، وتحسين و/أو تأقلم النمو الأصلي الضئيل والثبات الذاتي للكالسيوم .