

## Le tissu osseux : structure, fonctions et développement

Bonjour, nous allons clore avec notre dernier chapitre le tissu osseux. Comme vous le savez, la dernière fois nous avons commencé mais nous allons la terminer aujourd'hui.

### 1 Définition et composition du tissu osseux

Le tissu osseux est un tissu conjonctif spécialisé. Il comporte un ensemble de cellules et de matrice extracellulaire dans lequel on trouve surtout les fibres de collagène de type I et des substances fondamentales minéralisées. Ce tissu est un tissu de soutien. Le tissu osseux, comme le tissu cartilagineux articulaire, entre dans la composition des pièces osseuses. Dans l'os, on trouve le tissu osseux qui lui donne sa dureté et sa résistance. Mais on trouve aussi le cartilage hyalin aux extrémités, là où se situent les articulations. On trouve également la moelle hématogène et, en périphérie, un périoste, qui est un tissu conjonctif.

### 2 Différences entre os et tissu osseux

L'os et le tissu osseux ne désignent pas la même chose. Le tissu osseux de soutien est un tissu en constante renouvellement. Il subit des phénomènes de construction et de destruction de façon constante durant la vie de l'individu. Ce tissu intervient dans le squelette, qui a trois fonctions. Deux d'entre elles sont liées au tissu osseux : le rôle mécanique dans la locomotion et le rôle métabolique. En effet, le tissu osseux constitue la réserve de calcium et de phosphore de l'organisme et joue un rôle dans l'hématopoïèse.

### 3 Origines du tissu osseux

Le tissu osseux peut avoir deux origines distinctes :

- Une ébauche cartilagineuse, dans le cadre de l'ossification endochondrale.
- Une ébauche directement à partir d'un tissu conjonctif, dans le cadre de l'ossification membraneuse, qui aboutit à la formation des os plats et particuliers.

### 4 Classifications du tissu osseux

Il existe plusieurs classifications des tissus osseux, histologiquement et anatomiquement. Nous allons nous intéresser à la classification histologique.

#### Tissu osseux primaire

Le tissu osseux primaire, premier formé, est de type fibreux et destiné à être remplacé assez rapidement. Il est élaboré à partir de cartilage ou de tissu conjonctif.

#### Tissu osseux lamellaire

Le tissu osseux lamellaire comprend :

- Un tissu osseux haversien compact.
- Un tissu osseux haversien trabéculaire.
- Un tissu osseux périostique.

Sur une pièce osseuse longue, on trouve ces trois types de tissus. Au niveau de la diaphyse, on trouve le tissu osseux haversien compact. Au niveau de l'épiphyse, on trouve le tissu osseux haversien trabéculaire. En périphérie, on trouve le tissu osseux périostique.

#### Classification anatomique

Il existe un os compact, dit os cortical, et un os spongieux, correspondant au tissu osseux haversien trabéculaire. L'os compact constitue la diaphyse des os longs et l'enveloppe des os plats. Il forme une enveloppe résistante. Il est composé de la juxtaposition de structures appelées ostéons. Ce sont des structures cylindriques d'un diamètre de 200 à 300 micromètres, d'une longueur

variant selon l'os. Ils sont alignés parallèlement à la diaphyse. Chacun de ces ostéons est construit de lamelles concentriques. À l'intérieur de la lamelle, on trouve des fibres de collagène orientées de façon à donner au tissu cortical une résistance mécanique optimale.

Chaque ostéon est centré par un canal de 50 micromètres de diamètre. Tous les canaux de Havers de la diaphyse sont reliés les uns aux autres par des canaux transversaux, perpendiculaires à l'axe de la diaphyse. Chaque canal de Volkmann, centré par des vaisseaux sanguins, est innervé et communique, grâce au canal de Volkmann, avec la vascularisation périlymphatique et avec la moelle osseuse.

L'os spongieux trabéculaire constitue les épiphyses et les métaphyses des os longs. L'intérieur des os plats et courts est constitué par un réseau de travées plus ou moins anastomosées les unes avec les autres. L'architecture de ces travées osseuses dépend des lignes de force s'exerçant sur l'os, car les cellules qui constituent ces os remanient en permanence les travées osseuses, qui ont la capacité de percevoir les forces mécaniques.

La fonction de ces os est la suivante : l'os cortical a une fonction mécanique, tandis que l'os spongieux a davantage une fonction métabolique. Cependant, la résistance mécanique de l'os spongieux joue également un rôle important.

## 5 Croissance et développement de l'os

L'os se présente différemment en croissance qu'à l'âge adulte. Dans l'os en croissance, on a l'épiphyse et la diaphyse séparées par la métaphyse, correspondant au cartilage de croissance. Ce cartilage de croissance, avant d'avoir atteint l'âge adulte, joue un rôle très important dans la croissance en longueur des pièces osseuses. Le périoste joue également un rôle dans la croissance en épaisseur des os et, dans une moindre mesure, dans la croissance en longueur.

Chez les enfants, ce périoste est constitué de deux couches :

- Une couche superficielle, plutôt fibreuse.
- Une couche profonde comportant des cellules souches et des préostéoblastes.

On y observe des faisceaux de fibres de collagène de type I pénétrant profondément dans ce tissu osseux. Ces fibres, dites de Sharpey, amarrent solidement les périostes aux os. On trouve des ostéoblastes matures dans le périoste, responsables de l'élaboration de la matrice osseuse. On peut aussi trouver, plus rarement, des cellules de la lignée ostéoblastique.

Le périoste est richement vascularisé et innervé, ce qui provoque des douleurs lors des fractures chez l'adulte. Ce périoste est considéré comme un caisson, c'est-à-dire au repos. La couche fibreuse est peu différenciable de la couche profonde, mais on y observe des cellules allongées ressemblant à des fibroblastes. Ces cellules, susceptibles de se différencier sous l'influence de différents stimuli (stress mécanique comme une fracture, une pression ou une parathormone), peuvent se transformer en ostéoblastes.

## 6 Lignées cellulaires du tissu osseux

### Lignée ostéoblastique

Les cellules appartiennent à deux grandes lignées différentes. La lignée ostéoblastique comprend des cellules qui vont construire la matrice osseuse nouvelle. Cette lignée présente plusieurs stades morphologiques différents :

- Le préostéoblaste.
- L'ostéoblaste.
- L'ostéocyte.
- Les cellules bordantes.

#### Préostéoblastes

Les préostéoblastes sont des cellules issues de la division de cellules localisées dans la moelle ou l'os trabéculaire ou du tissu périostique. Ce sont des cellules allongées, au contact des ostéoblastes matures. Elles sont capables de se diviser et présentent comme caractéristique histochimique l'expression d'enzymes, notamment la phosphatase alcaline.

### **Ostéoblastes matures**

Les ostéoblastes matures ont pour fonction de synthétiser la matrice osseuse collagénique et de participer à sa minéralisation. Ils forment un tapis de cellules jointives, disposées en pseudo-épithélium. Ils communiquent par des jonctions communicantes bien individualisées, qui permettent notamment le passage du calcium. Le noyau est situé au pôle basal. La partie apicale est très basophile. Le réticulum endoplasmique est très développé et la membrane est riche en phosphatase alcaline. Ces enzymes, qui passent dans le sang circulant, permettent de créer un index de la formation osseuse. En effet, la phosphatase alcaline induit la formation osseuse. Ainsi, plus il y a de phosphatase alcaline produite par les ostéoblastes, plus la concentration dans le sang est élevée et plus l'os se construit. On peut donc, par dosage de ces enzymes, avoir une idée de la formation osseuse.

On note que, en cas de déficit en vitamine D, le tissu ostéoïde ne se minéralise pas assez rapidement. L'épaisseur du tissu ostéoïde augmente, l'os devient alors plus mou, ce qui peut entraîner des déformations.

### **Ostéocytes**

Dès que l'ostéoblaste a élaboré le tissu ostéoïde, cette cellule peut s'emurer dans la matrice minéralisée et devient un ostéocyte. Les ostéocytes sont encore capables de synthétiser du collagène et jouent un rôle dans la réponse aux variations de contraintes mécaniques appliquées sur l'os. L'ostéocyte ne peut pas résorber la matrice qui l'entoure.

### **Cellules bordantes**

La cellule bordante représente 15 % de la surface osseuse. Elle peut s'aplatir, réduire de manière très importante son activité métabolique et devenir quiescente. Les travées de la surface osseuse trabéculaire sont recouvertes par des ostéoblastes actifs. Le reste est recouvert par des cellules bordantes. Ces cellules bordantes séparent le tissu osseux de la moelle osseuse. Elles n'ont pas d'activité de synthèse. Cependant, elles sont capables de se multiplier et de se redifférencier en ostéoblastes actifs.

## Lignée ostéoclastique

La lignée ostéoclastique est impliquée dans la destruction du tissu osseux ancien. Les ostéoclastes sont de grandes cellules mesurant 100 micromètres de diamètre. Elles sont plurinucléées, contenant entre 10 et 20 noyaux. Ces cellules proviennent de la fusion de cellules mononucléées. Elles sont hautement mobiles et peuvent se déplacer sur des travées osseuses et dans les lacunes de résorption qu'elles créent.

Les ostéoclastes mettent en solution la matrice extracellulaire. Elles comportent des fibres de collagène de type I. On peut mettre en évidence des bandes alternées dans l'os lamellaire. La matrice se dépose de manière très organisée, ce qui conduit à la juxtaposition de lamelles parallèles présentant une biréfringence en microscope optique. Les fibres de collagène de type I sont alternativement sous forme dense et lâche.

Lors de l'ossification primaire, de certains phénomènes pathologiques ou de la réparation de certaines fractures, la matrice est déposée plus rapidement. La matrice a alors un aspect mosaïque tissé. La partie minérale, l'hydroxyapatite, constitue cette minéralisation. Le squelette constitue la réserve de calcium de l'organisme. Ce calcium est rapidement mobilisable grâce aux ostéoclastes et à leur action.

## 7 Remodelage osseux

Le tissu osseux est en constant renouvellement, que ce soit dans l'os compact ou trabéculaire. Ce renouvellement est appelé remodelage osseux. L'observation du tissu osseux amène à la conception d'une unité fonctionnelle de remodelage. Cette unité est formée de deux équipes de cellules, comprenant un sous-groupe ostéoblastique et un sous-groupe ostéoclastique. Les activités métaboliques sont étroitement couplées dans l'espace et dans le temps.

Le résultat du travail d'une unité fonctionnelle, appelée unité de formation, est une unité structurale appelée ostéon. L'ostéon a l'aspect d'un croissant dans l'os trabéculaire et d'un aspect cylindrique dans l'os compact. Ces unités sont bien

visualisées en microscope optique. La durée du cycle de remodelage est d'environ quatre mois chez l'adulte. La phase de formation est plus longue que celle de résorption.

Les unités de remodelage ne sont pas synchrones, ce qui permet d'adapter la quantité d'os et son architecture en fonction de plusieurs facteurs. Sous l'influence de la parathormone, de la vitamine D, des facteurs locaux, l'os est ainsi formé de millions d'unités de remodelage.

Lorsque la calcémie est faible, il y a production de calcitonine par la thyroïde, ce qui active la production osseuse par les ostéoblastes. Tout au long d'une année, ce processus intéresse 25 % du tissu osseux spongieux et 4 % du tissu compact. Le tissu spongieux est beaucoup plus remanié que le compact.

## 8 Capital osseux et vieillissement

Le capital osseux représente toute la masse osseuse constituant le squelette. Ce capital augmente progressivement jusqu'à une vingtaine d'années. Puis il y a une stabilisation pendant quelques années et enfin une diminution lente avec l'âge. Cette diminution est encore plus importante chez les femmes à partir de la ménopause. Cela augmente le risque de fractures. Ce capital évolue donc dans le temps.

## 9 Réparation des fractures

Il y a également le remaniement des fractures. L'os est capable de réparer ses fractures. Une fracture est une destruction tissulaire localisée avec rupture de la vascularisation. Dans la région fracturée, on a une hémorragie. Cette hémorragie attire des macrophages et des polynucléaires, qui vont éliminer les déchets accumulés dans cette région. Ils apportent d'autres cellules qui, après le nettoyage, produisent un tissu conjonctif vascularisé. Dans un second temps, ce tissu perd sa vascularisation et se transforme en tissu cartilagineux.

La formation des pièces osseuses se fait de deux façons :

- À partir d'une ébauche cartilagineuse.
- À partir d'un tissu conjonctif.

Le tissu conjonctif est également à l'origine de la vascularisation. Dans le cas de l'os, l'ossification survenant au cours des processus de remodelage est qualifiée par certains auteurs d'ossification tertiaire.

## 10 Ossification d'un os long

Nous allons maintenant étudier l'ossification d'un os long. Elle se fait à partir d'ébauches de membres qui apparaissent dès la 4<sup>e</sup> ou 5<sup>e</sup> semaine de développement. Dans l'axe mésenchymateux, apparaissent des densifications axiales qui forment des modèles cartilagineux hyalins des différentes pièces osseuses que l'on trouve dans le squelette. Ces différentes pièces cartilagineuses sont entourées de périchondre et ne possèdent pas de vascularisation. Elles possèdent dans un premier temps une croissance harmonieuse suivant le développement général. Cette croissance se fait par croissance interstitielle et par apposition.

Vers la 12<sup>e</sup> semaine, on assiste à une ossification de la diaphyse, ossification primaire du modèle cartilagineux. La formation de la cavité médullaire primitive permet aux éléments nutritifs d'atteindre la cellule cartilagineuse par imbibition. À un moment donné, un bourgeon conjonctivo-vasculaire va pénétrer à partir du périchondre à l'intérieur du modèle cartilagineux. Ceci entraîne un certain nombre de modifications du système cartilagineux, qui n'est pas vascularisé normalement. Certains éléments du cartilage, en contact avec la vascularisation, élaborent des phosphatases à l'origine d'une calcification de la substance fondamentale cartilagineuse. Cette calcification empêche la substance de circuler. Les chondrocytes ne reçoivent plus de nutrition, meurent et laissent des cavités vides. Les éléments conjonctivo-vasculaires font s'effondrer les séparations de ces cavités vides, formant la cavité médullaire primitive.

## 11 Ossification des os plats

L'ossification des os plats se met en place à partir du tissu conjonctif richement vascularisé. Les cellules mésoblastiques se transforment en ostéoblastes, qui élaborent une substance préosseuse minéralisée assez rapidement. Elle est dite calciphile, c'est-à-dire qu'elle a une grande affinité pour le calcium. Un certain nombre de cellules présentes dans le tissu conjonctif vont être progressivement entourées par cette substance pour donner les ostéocytes. Cela est à l'origine des travées réticulaires primaires, qui vont être remplacées par un remaniement rapide par un os lamellaire areolaire. C'est donc un os spongieux constitué de lamelles pouvant être anastomosées entre elles, avec persistance de vaisseaux sanguins et de cellules conjonctives.