

TISSUS SQUELETTIQUES

-Cartilagineux.

-Osseux.

Ces deux tissus constituent le squelette avec les TC.

Ces tissus appartiennent à la grande famille des TC; Ils dérivent tous du 3e feuillet qui se met en place dans la 4e semaine (= mésoblaste).

Mettent en place autour d'eux une MEC faite de SF et fibres.

Ontogenèse= 1e maquette à partir de laquelle se formeront les os.

Phylogénique= lors de l'évolution; Tcartilagineux= le plus ancien.

1. Tissu cartilagineux.

1.1 Caractères généraux.

Ce sont les moins répandus, ni vascularisés, ni innervés, ni même minéralisés dans les conditions physiologiques normales.

Ces tissus cartilagineux sont constitués par des cellules qui vont mettre en place la MEC composée de SF + fibres.

Ces cellules sont des chondroblastes pour les cellules jeunes, qui deviendront des cellules adultes= chondrocytes.

Le chondre= grain= cartilage.

Ces chondroblastes sont des cellules qui dérivent d'une part d'une cellule mésenchymateuse pluripotente, à l'origine des chondroblastes ou ostéoblastes, des tissus osseux ou cartilagineux.

Propriétés des fibres, coll II.

-Cartilage hyalin, va constituer maquette des futures pièces osseuses. Constitue les anneaux de l'arbre respiratoire (trachée), cartilage du larynx, articulaire, cloison nasale....

-Fibrocartilage: pièce résistante, composée de coll I, insertion dans certains tendons (tendon d'Achille), disque intervertébraux, symphyse pubienne....

Tous les lieux qui subissent des forces mécaniques particulières.

-Cartilages élastiques (fibres d'élastines): épiglotte, ailes du nez, conduit auditif....

Petites pièces ici encore à rôle mécanique très particulier.

Cartilage hyalin d'un anneau trachéal:

Schéma 1

1/ Les cellules.

Chondrocytes: En MO, ces cellules sont dispersées dans MEC, nichées dans logettes (= chondroplastes).

De forme arrondie, noyaux bien nucléolé. Isolée dans ces logettes.

En ME, les organites sont bien représentés + inclusions de glycogènes et de lipides.

Ce sont des cellules qui ont une certaine activité métabolique et qui conservent pour les chondrocytes, la possibilité de se multiplier (bien que rare).

Ces cellules ne sont pas coupées des autres cellules bien qu'isolées. On y trouve des récepteurs à l'hormone de croissance hypophysaire (STH), à la parathormone (parathyroïde), aux stéroïdes sécrétés par les surrénales, aux œstrogènes....

Ces cellules sécrètent des molécules que l'on va retrouver dans MEC et cytokines. Ce sont des facteurs de croissances.

Chondrone désigne la cellule (= chondrocyte) + son environnement immédiat. Cela désignera des filaments de collagène, des intégrines....

-La MEC: SF + fibres coll.

SF: MO: toujours dans le cas du cartilage hyalin. Optiquement vide, on n'y voit rien d'où le qualificatif de hyaline.

Si coupe plus fine, l'on passe de l'opacité à la translucidité voire transparence. PAS + (renferment glucides), bleu alcian +, métachromatique (bleu de toluidine) c'est à dire au lieu de se colorer en bleu, se colore en violet. Ceci signifie qu'il y a des GAG (sulfatés).

Se condense au niveau des logettes si bien qu'on peut observer une auréole basophile au niveau des chondroblastes.

Sa composition chimique.

-Composés minéraux: 70 à 80% de son poids en eau.

-Sels minéraux: 95% des cendres après calcination du tissu cartilagineux= sodium. D'autre part, Ca, Mg, P....

Tissu qui pourra se minéraliser et fixer le sodium.

Tissu le plus riche en Na.

80% des composés constitués de protéoglycanes (= 10% protéines + 90% GAG).

-Acide hyaluronique (grande affinité pour l'eau).

-Chondroïtine 4 sulfate.

-Chondroïtine 6 sulfate.

-Kératanes sulfates.

Au niveau du liquide synovial.

Schéma 2

Ce protéoglycane du tissu cartilagineux= aggrécane.

Aggrécane se fixe sur long polymère d'acide hyaluronique, fixé par protéines de liaison, eux mêmes fixés à fibrilles de coll II par liaisons électrostatiques.

Cette organisation moléculaire s'apparente à une maille où pourraient circuler les particules nutritives.

La présence des ions sulfates conforme la structure avec une charge négative tous les 5 Å.

Donc se comporte comme un polyanion: joue un rôle important dans la rétention d'eau et de cation. Dans cette SF on trouve également des glycoprotéines qui jouent un rôle important dans l'architecture moléculaire donc dans les fonctions.

-chondronectine: établit des relations entre coll et...

-chondrocalcine: sur lieu de minéralisation.

-ténascine: déplacement des cellules dans MEC du tissu cartilagineux.

Derniers constituants de cette MEC, les fibres.

Ces fibres sont des fibres de coll II.

MO: invisible car indice de réfraction voisin de la SF. On utilise donc de la lumière polarisée ou une digestion enzymatique de la SF pour pouvoir coloriser.

Ces fibres de coll II sont des fibrilles qui forment un feutrage dans toute la matrice cartilagineuse.

Les fibres= 50% des constituants de la MEC d'un point de vue pondéral.

-Coll spécifique du tissu cartilagineux: Coll II, IX, XI.

Seuls les coll II et XI sont des coll fibrillaires au sein de la MEC.

Coll XI permet le contrôle du diamètre du coll II.

Coll IX joue un rôle de stabilisation du coll II.

Les coll ubiquitaires sont: VI (chondrone avec coll IX), XII (périchondre) et XIV (dans toute la matrice cartilagineuse).

3. Histogenèse et croissance.

3.1. Histogenèse: elle se fait essentiellement chez l'embryon, dès le 1^{er} mois du développement embryonnaire.

Condensation de cellules mésenchymateuses: cellules nerveuses, très mobile, qui, au niveau de la future ébauche vont s'accumuler.

On va voir évoluer ces cellules pour former un blastème précartilagineux.

Les cellules s'arrondissent, plus de vascularisation de cette région de condensation cellulaire.

Il va y avoir expression des gènes ce qui entraînera une matrice de nature cartilagineuse (coll II).

Lieu de différenciation des cellules mésenchymateuses pour former chondroblastes ou préchondroblastes.

Formation de la matrice de nature cartilagineuse et pas de vaisseaux.

-cartilage cellulaire: division cellulaire importante.

Riche en cellule.

Donnera la place au cartilage hyalin.

A. La croissance.

Elle peut se faire selon deux modes:

-Croissance interstitielle: développement fœtal et jeune enfant.

Se traduit par une augmentation générale de la pièce cartilagineuse dû à des divisions cellulaires (propriétés mitotiques importantes). Ces divisions forment des groupement isogéniques (= association de cellules qui proviennent d'une même cellule).

Groupeement isogénique axial, car se prolonge en fil:

Schéma 3

Groupeement isogénique coronaire:

Schéma 4

-Croissance de type appositionnel:

Périchondre: TC qui emballe les pièces cartilagineuses à l'exception des surfaces articulaires (analogue du périoste pour le TO).

Le périchondre est fait de deux couches:

-une couche fibreuse tendiniforme, très résistante, au niveau de laquelle on trouve des capillaires sanguins, zone vascularisée.

-une autre couche, plus profonde, où les cellules s'arrondissent, et où il n'y a plus de traces de vascularisation. C'est la couche chondrogène, lieu de différenciation, de métaplasie, où les cellules vont devenir progressivement des préchondroplastes et chondroplastes.

En dessous, le tissu cartilagineux est déjà mis en place, cartilage hyalin plus ancien. Le périchondre est lié au tissu cartilagineux par les fibres de Charpey (= gros trousseaux de fibres).

La chondrogenèse va fonctionner du tissu cartilagineux vers la première couche, surface; en somme, le périchondre recule.

La couche superficielle est encore de type conjonctive à l'inverse de la deuxième couche de nature cartilagineuse.

Quand le tissu cartilagineux est de taille adulte, il conserve ses propriétés de chondrogenèse ce qui permet d'éventuelles réparations du tissu cartilagineux suite à des lésions.

4. Classification.

Différents types de tissus cartilagineux selon la localisation donc la proportion de fibres.

1/ Cartilage hyalin.

Constitue chez le fœtus les maquettes cartilagineuses à l'origine des plus grandes pièces osseuses de notre squelette. Au niveau des anneaux trachéaux, septum nasal, cartilages des côtes, larynx....

2/ Cartilage articulaire.

Différenciation de cartilage hyalin.

Particularité dû à leur localisation. Partie superficielle (en contact avec le liquide synovial): fibres collagènes parallèles à la surface articulaire, cellules aplaties parallèles à l'orientation de ces fibres.

Cellules en forme d'ogives (deuxième couche)= groupement isogénique axial.

→ Cartilage de croissance= de conjugaison.

3/ Fibrocartilages.

Riches en fibres (composant majeur repérable même en MO). Fibres de collagène I mais aussi de collagène II.

Localisation: zones qui doivent résister à des forces de compression ou d'étirement importantes.

Ménisque, disques intervertébraux, symphyse pubienne, insertion du tendon d'Achille, ligament rond de la hanche,...

La localisation module la composition.

Au niveau du tendon d'Achille, TC unitendu avec gros trousseaux de collagène à orientation préférentielle.

Au niveau des disques intervertébraux: collagène organisé en lames extrêmement denses où fibres de collagènes de direction perpendiculaire (pour la résistance aux forces d'écrasement).

4/ Cartilage élastique.

Épiglotte, conduit auditif, pavillon de l'oreille, trompe d'Eustache.

Présence dans la matrice de fibres (élastine).

Le cartilage est riche en cellules.

5. Physiologie.

Les tissus cartilagineux vont jouer un rôle particulier au niveau du squelette: maquette des futures pièces osseuses.

Rôle mécanique général: de soutien, rôle particulier au niveau des cartilages articulaires (compression).

Présence d'eau en proportion importante, indispensable à la survie du tissu cartilagineux. Responsable d'un bon nombre de propriétés mécaniques. Les altérations des cartilages articulaires vont être graves et douloureuses.

La nutrition va dépendre de la présence d'eau dans matrice cartilagineuse. La nutrition va se faire à partir du liquide synovial.

Les chondrocytes sont des cellules capable d'assurer les sécrétions et le renouvellement.

Peuvent se régénérer suite à des lésions.

Connaissant la structure du tissu cartilagineux, la SF peut retenir des ions tels que calcium ce qui provoque la goutte.

Cartilage articulaire particulièrement fragile du fait de l'absence de périchondre et de leur localisation d'où l'usure= arthrose.

Rq: coxarthrose (hanche), gonarthrose (genoux).
Fracture des ménisques du genoux.
Usure des disques intervertébraux: hernies discales.

LE TISSU OSSEUX (TO)

À l'inverse du tissu cartilagineux, le TO est complexe.

1. Caractères généraux.

Tissus composés de cellules qui mettent en place autour d'elles une matrice cellulaire dans laquelle on va trouver de la SF et des fibres.

Particularité: MEC et fibres vont se minéraliser.

Dépôt de phosphate tricalcique ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).

Sous sa forme cristalline que l'on appelle hydroxyapatite.

Un dépôt peut se faire sous forme amorphe (dépôt) ou selon des règles physiques complexes.

L'hydroxyapatite est un minéral que l'on trouve dans les roches....

Cristallisation complexe sur fibres de collagène de type I (composant majeur du TO).

-Armature sur TO → propriétés physiques et mécaniques, de résistances à l'étirement.

-Participation du TO à l'appareil locomoteur.

-Protection d'organes essentiels comme encéphale et moëlle épinière.

-Réservoir de sels minéraux. En effet, les minéraux fixés sur TO, ne le sont pas de façon permanente car l'organisme sous contrôle hormonal va puiser dans ses réserves (pour réguler la calcémie par exemple).

Ces phénomènes de renouvellement sont permanents bien que ralentis avec l'âge. Ces phénomènes sont permis par la vascularisation.

2. Techniques d'études.

TO composé de particules organiques et minérales.

-Soit l'on décalcifie pour n'étudier que les particules organiques.

On use d'acide trichloracétique → pièce osseuse devient molle sur laquelle on pourra réaliser toutes les techniques utilisées sur les autres tissus (coupe, coloration,...).

-Soit l'on opère une calcination pour n'obtenir qu'un fragment de tissu osseux qui au départ conserve sa forme, mais ultérieurement comme très fragile, on obtient des cendres pouvant être étudiées.

Technique de meulage (utilisé par les géologues) → lame mince observée en lumière polarisée (conserve tous les éléments en place).

-ME.

-Microradiographie (observation de la répartition de minéralisation).

- ³⁵S et ⁴⁵Ca.

3. La MEC.

Os frais constitué de 25% d'eau et 14% de lipides dans les cavités médullaires.

Os sec et dégraissé: 70% d'éléments minéraux et 30% d'éléments organiques.

Éléments minéraux= fonction de réservoir que joue les TO.

TO renferme 90% du Ca de l'organisme, 90% du phosphore (les phosphates).

mais aussi des proportions importantes de Na, K, et Mg.

Éléments organiques à 90% de nature collagène.

On fait bouillir les os → collagène permet de faire de la colle et de la gélatine.

La partie organique du TO est de nature collagène (90% de collagène sous forme de fibres de collagène de type I.

-Il y a aussi des fibres de collagène de type V.

-Protéoglycanes (GAG) de types chondroïtine sulfate.

-Glycoprotéines: ostéonectine, ostéocalcine, ostéopontine, sialaprotéine, thrombospondine.

-Fibres.

TO constitués de lamelles osseuses: fibres collagènes parallèles entre elles dans une lamelle osseuse, mais perpendiculaire aux fibres de collagène de la lamelle osseuse voisine.

→ Propriétés mécaniques.

2. Matière minérale.

Constitué par phosphate tricalcique hydraté= hydroxyapatite (forme cristalline).

Cristaux hexagonaux aplatis, fixés sur voir au sein des fibres de collagènes selon une organisation très précise et régulière.

Ces cristaux hexagonaux font 400 Å de haut, 200 Å de large et 50 Å d'épaisseur.

La partie superficielle de ces cristaux est plus hydratée ce qui permet l'accès ou la libération d'ions à partir de la surface des cristaux. D'autre part, d'autres ions vont venir se fixer sur les cristaux tels que les carbonates, de calcium, de magnésium, des citrates, de calcium, du fluorure, de l'arsenic, du strontium,...

IV. Les cellules du TO.

De 4 types:

Coupe d'une lamelle osseuse, en ME:

Schéma 1

1/ Cellules bordantes: petites cellules aplaties relativement pauvre en organites.

Si il n'y a pas destruction, recouvre toute la surface.

Probablement des cellules souches.

2/ Ostéoblastes: en MO: Cellules massives qui ont la particularité de prendre une disposition pseudo-épithéliale.

Cytoplasme basophile, noyau au pôle basal.

En ME: organites nombreux, REG très développé tout comme l'appareil de Golgi, présence de mitochondries,... Ces cellules vont mettre en place la MEC, avec tous ses constituants puis contrôler les phénomènes de minéralisation.

Elles résultent de la différenciation des cellules bordantes.

Elles établissent des jonctions de type communicante (= GAP).

3/ Ostéocytes: Cellule adulte emprisonné dans le TO minéralisé.

En MO, on ne voit pas grand chose.

Organisation très régulière. Pourvus de prolongement allant dans deux sens préférentiels.

Organisés en plan de lamelle osseuse:

Schéma 2

Cellule ramifiée dans logette (ostéoplaste) qui épouse la forme de la cellule.

Cellule relativement pauvre en organites mis à part quelques inclusions de type grains de lysosomes.

Ces prolongements s'enfoncent dans des canalicules du même nom c'est à dire radiaire ou circulaire.

-Espace périostéocytaire où l'on trouve protéoglycanes.

-Établissent des jonctions de type GAP.

-Pourront subir l'action de la Vit D3 ou parathormone, sur matrice minéralisée → ostéolyse ostéocytaire (= libération d'ions).

Rq: durant l'allaitement par exemple.

Ostéocytes proviennent de la différenciation d'ostéoblastes d'où l'organisation régulière.

4/ Ostéoclastes: macrophage du TO.

En MO:

Schéma 3

Taille de 100 microns, plurinucléé (une cinquantaine de noyaux).

Résulte de la fusion de cellules d'origine médullaire (qui proviennent de la moëlle osseuse, d'une lignée hématopoïétique, d'une lignée de monocytes).

Cytoplasme basophile, de très nombreuses inclusions, bordure en brosse.

Quand en activité, se plaque sur lamelle osseuse qu'elle va détruire.

Golgi, REG,... population de lysosomes I et II.

MP lisse sans différenciation particulière mais au pôle opposé: nombreuses microvilosités= bordure en brosse.

Elle va se fixer un peu comme une ventouse à la matrice minéralisée par podosomes via intégrines (+ actines) membranaires ce qui délimite un espace. Ce compartiment (= lacune d'Howship) s'agrandit.

V. Histogenèse et modelage.

1. Histogenèse.

Schéma 4

Ostéoïde= liseret préosseux, zone matricielle organique: PAS+, BA+, métachromatique.

2e stade: les cellules deviennent osseuse par endroit minéralisation de l'ostéoïde.

3e stade: lamelle osseuse dont la matrice osseuse s'est complètement minéralisé.

Les TO auront toujours une structure lamellaire et une croissance de type appositionnel.

Schéma 5

La structure pseudo-épithéliale des ostéoblastes → lamelle osseuse.

Différenciation par vagues successives des ostéoblastes → croissance de type appositionnel.

IV. Les cellules.

1. Les cellules bordantes.

2. Les ostéoblastes.

L'ostéoblaste produit d'abord l'ostéoïde puis il y a minéralisation.

Les ostéoblastes sont dépendants de facteurs locaux ou systémiques.

1/ Les facteurs locaux.

BMP (bone morphogénique protein).

FGF (facteur de croissance fibroblastique).

TGFB.

IGF.

2/ Les facteurs systémiques.

Parathormones (PTH) par les parathyroïdes.

Vit D3.

Œstrogènes (rôle de stimulant de précurseurs).

Les récepteurs de ces trois facteurs se trouvent sur les ostéoblastes.

Glucocorticoïdes.

Minéralisation:

Ostéoblastes → phosphatase alcaline → enrichit en ions phosphates PO_4^{2-} .

Les ions calcium → protéoglycanes et ostéocalcines (propriétés calcepsiques).

Vésicules matricielles (propriétés épitactiques du collagène (II) → minéralisation).

Technique de coloration sur tissus jeunes.

PAS+ et BA+.

→ ostéoïde.

Microradiographie:

Permet de repérer les zones claires= non minéralisée.

→ défaut de minéralisation= rachitisme.

Ostéomalacie (quand végétarisme trop strict).

V. Phénomène de modelage.

Ostéoclastes:

Hydrolyse du CO₂ pour fournir des ions carbonates.

Libération d'hydrolases acide contenues dans les lysosomes primaires (phosphatase acide, collagénase, catépsine, métalloprotéinase (= métalloprotéase)). Ces produits attaquent la matrice organiques → digestion.

Par pompe → réabsorption du calcium par endocytose.

Facteurs locaux → différenciation des cellules.

M.CSF= macrophagique colony stimulating factor.

→ désengagement des cellules souches → différenciation des cellules.

→ ODF: c'est une protéine transmembranaire.

Facteur de différenciation des ostéoclastes.

Schéma 6

RANK est un récepteur d'ODF.

OPG, structure moléculaire proche de RANK → se fixe sur ODF.

→ Maturation des précurseurs.

Si ODF se fixe sur RANK → stimulation de l'activation de la différenciation des ostéoclastes.

Déminéralisation par hyperostéoclastose.

ODF + OPG → ostéopétrose.

C'est une maladie ostéocondensante où il n'y a pas d'ostéoclastes.

Si pas d'expression d'ODF ou RANK → ostéopétrose car pas d'ostéoclastes.

Facteurs systémiques:

PTH: hormone hypercalcémiant, collabore avec la vit D3.

Récepteur calcitonine (sur ostéoclaste donc effet immédiat) est une hormone hypocalcémiant.

→ Réduit le nombre d'ostéoclastes et leur bordure en brosse.

VI. Les ossifications.

→ Différentes variétés de TO.

1. Ossification primaire.

-TO non lamellaire (réticulaire).

Ossification de membrane → os plat.

Les ostéoblastes ne prennent pas de disposition pseudo-épithéliale.

-TO de membrane.

-TO périostique.

Comme périchondre, deux niveaux:

-couche externe, tendiniforme (conjonctive, vascularisée, innervée).

-couche interne, ostéogène (vascularisée et innervée).

Lieu de différenciation des ostéoblastes, métaplasie.

TO lamellaire.