

Dibuixos d'histologia

La histologia en cent dibuixos per a la pissarra

Josep Maria Tomàs i Ferré

PUBLICACIONS DE LA UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Av. Catalunya, 35 · 43002 Tarragona

Tel. 977 558 474 · publicacions@urv.cat

www.publicacions.urv.cat



1a edició: juliol de 2025

ISBN (paper): 978-84-1365-219-1

ISBN (PDF): 978-84-1365-218-4

DOI: 10.17345/9788413652191



Cita el llibre.



Consulta el llibre a la nostra web.



Llibre sota una llicència Creative Commons BY-NC-SA.

Publicacions de la Universitat Rovira i Virgili és membre de la Unión de Editoriales Universitarias Españolas i de la Xarxa Vives, fet que garanteix la difusió i comercialització de les seves publicacions a nivell nacional i internacional.

DIBUIXOS D'HISTOLOGIA

La histologia en cent dibuixos per a la pissarra

Dibuixos esquemàtics d'agrupacions cel·lulars que formen unitats histològiques

Josep Maria Tomàs i Ferré



Tarragona, 2025



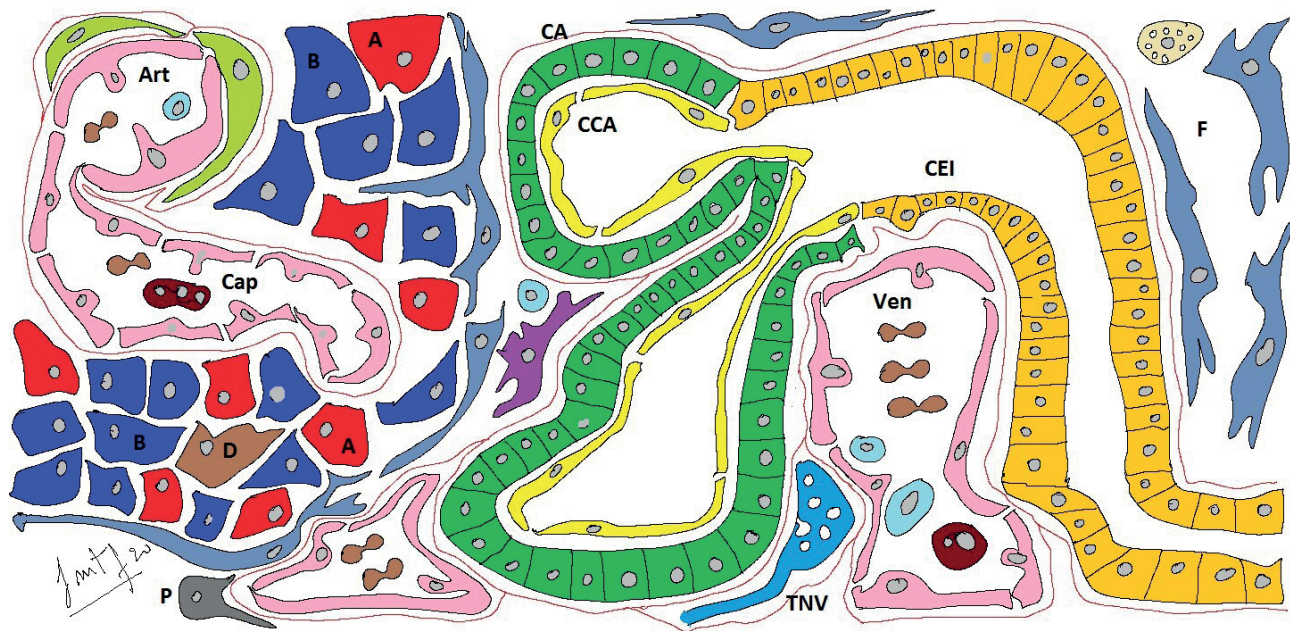
Estudiar, imaginar, dibuixar, escriure, de forma dirigida o espontània, en paper, a la pissarra o en una pantalla, fa millorar la qualitat i permanència de l'aprenentatge.

Continguts

INTRODUCCIÓ	9
1. TEIXITS	11
Teixit epitelial	11
Teixit connectiu.....	21
Teixit muscular	32
Teixit nerviós.....	41
2. ELS VASOS GRANS: COMUNICACIÓ A DISTÀNCIA LENTA	55
Els vasos grans: comunicació a distància lenta	55
3. ELS ÒRGANS IMMUNITARIS: MOVIMENT DE LEUCÒCITS	65
Moll de l'os.....	65
Timus.....	68
Ganglis limfàtics	71
Melsa	76

4. ELS ÒRGANS ENDOCRINS: MOVIMENT DE MOLÈCULES DE SENYALITZACIÓ ..	85
Eix hipotalamohipofisari	85
Tiroides	92
Glàndula suprarenal	94
Illots i cèl·lules endocrines disperses	96
Ovaris i matriu	100
Testicles	109
5. ELS ÒRGANS RESPIRATORIS I MOVIMENT DE GASOS	113
Mucosa nasal	113
Bronquis	115
Bronquíols	117
6. ELS ÒRGANS DIGESTIUS I ABSORTIUS DE NUTRIENTS	123
Tub digestiu: organització	123
Glàndules	132

Les glàndules associades al tub digestiu són el fetge, el pàncrees i les salivals.	132
7. ELS ÒRGANS EXCRETORS.....	141
8. ELS ÒRGANS NEURALS: COMUNICACIÓ A DISTÀNCIA RÀPIDA I PRECISA ...	149
Nervis.....	149
Ganglis.....	151
Cerebel.....	156
Cervell	158
Teixit connectiu en el sistema nerviós	161
9. ELS ÒRGANS SENSITIUS I SENSORIALS.....	169
Vista	169
Oïda i equilibri	172
Olfacte	176
Gust	178
Tacte.....	180



Pissarra 1.

Introducció

Dibuixar no és només per a artistes. Estudiar fent dibuixos és una manera creativa i molt efectiva d'aprendre. Aquesta tècnica combina la part visual amb la comprensió dels continguts, cosa que pot ajudar a retenir millor la informació. Representar visualment els continguts és una estratègia d'aprenentatge molt eficaç, tant per a estudiants com per a docents que volen millorar la comprensió.

Quan dibuixem allò que estem aprenent o exposant, activem múltiples àrees del cervell: la visual, la motora i la semàntica com a mínim. Aquesta integració afavoreix retenir la informació i, sobretot, ajuda a organitzar i comprendre millor els conceptes. Hem de tenir present que la potència del cervell radica sobretot en la capacitat de relacionar i integrar la informació, interna i externa, que rep i utilitza. Crear les pròpies representacions visuals també genera un vincle personal amb el contingut que estudiem, cosa que en millora la memorització a llarg termini. Fer dibuixos implica un esforç per entendre allò que estem aprenent, ja que cal simplificar i representar visualment els conceptes clau.

Estudiar fent dibuixos és una estratègia potent per entendre i retenir millor els conceptes.

Aquí es mostra un recull de dibuixos fets a la pissarra de l'aula que han anat evolucionant durant cinquanta anys explicant Histologia a segon de Medicina a les universitats de Barcelona i Rovira i Virgili. S'han reproduït amb el programa de dibuix elemental Paint. Durant la pandèmia de la covid-19, els professors vam fer en línia totes les exposicions de les classes, els seminaris i les tutories, i per a mi, la utilització d'aquests dibuixos i la tauleta digitalitzadora van reemplaçar una

mica l'espontaneïtat de la pissarra. A les pàgines 46, 47 i 75 hi ha una mostra de dibuixos fets a la pissarra, mentre interactuava directament amb estudiants durant seminaris presencials.

Les agrupacions cel·lulars que es representen en aquest llibre il·lustren unitats morfofuncionals bàsiques dels òrgans humans presentades amb un criteri lax. No s'ha buscat que les imatges tinguin un aspecte realista, sinó que siguin senzilles, fàcils de dibuixar, d'interpretar i de retenir per a l'estudi.

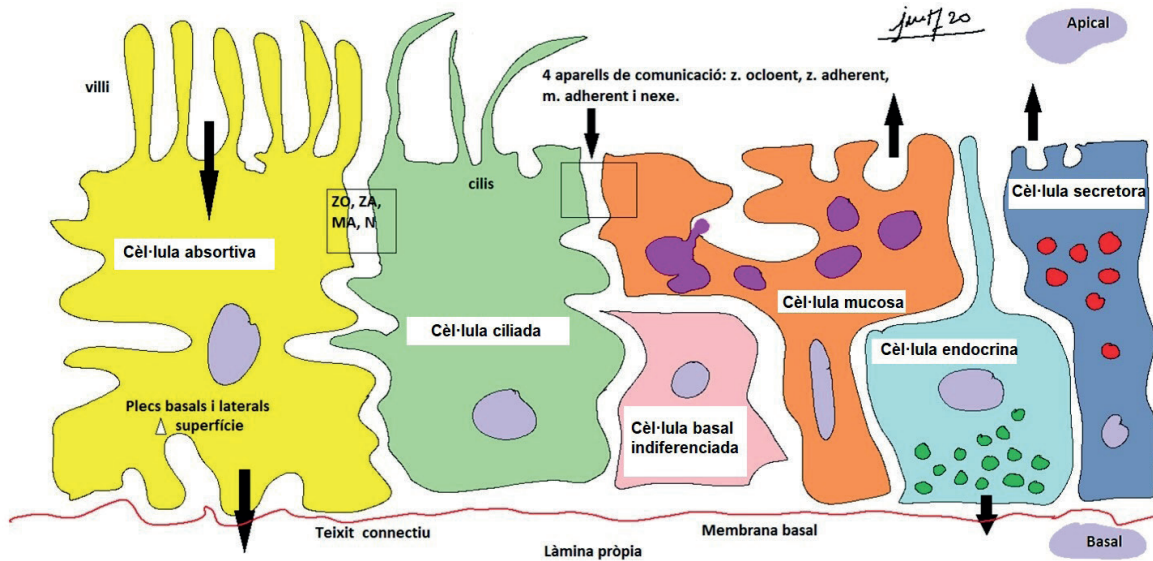
Gràcies a Neus García i a María Ángel Lanuza per compartir docència i recerca.

JOSEP MARIA TOMÀS

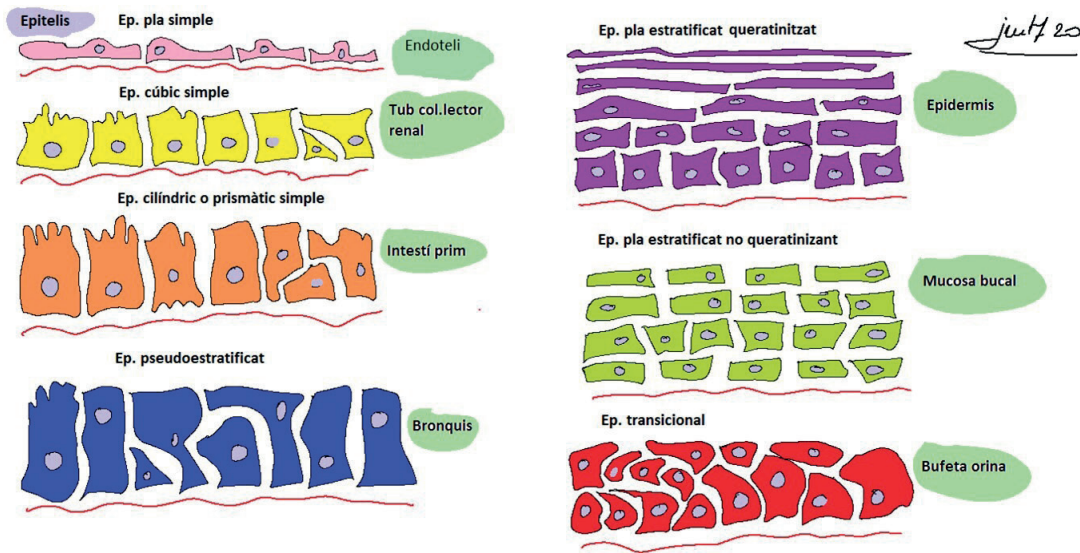
1. Teixits

Teixit epitelial

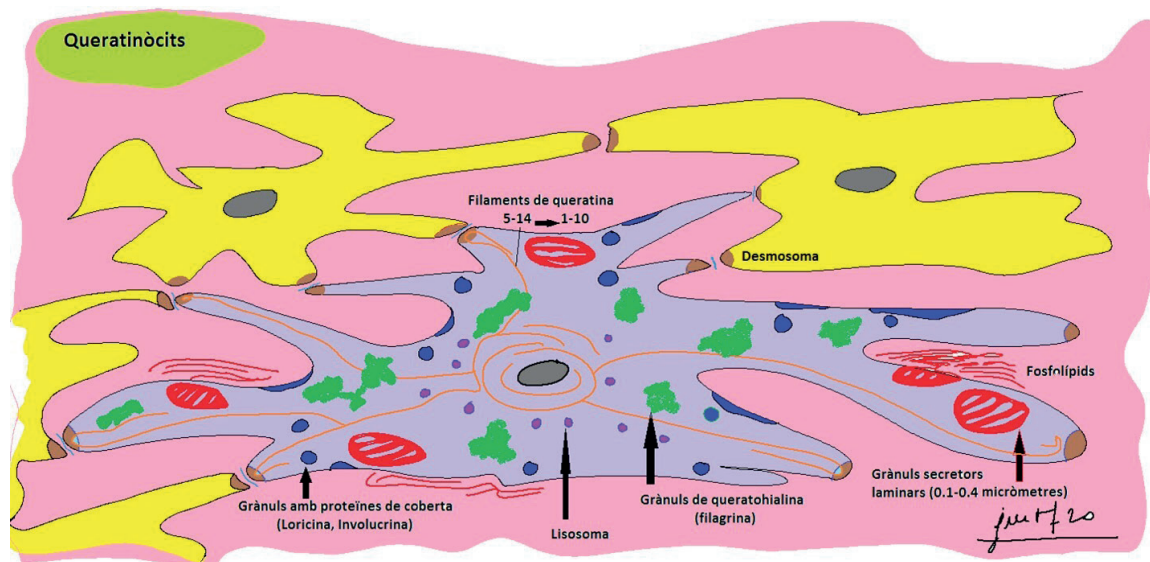
El **teixit epitelial** està format per cèl·lules íntimament unides que creen una interfase entre dos compartiments. El lligam entre les cèl·lules es fa per aparells i complexos (diversos aparells junts) d'unió i comunicació: zònula ocloent o oclusiva —ZO—, zònula adherent —ZA—, màcula adherent o desmosoma —MA— i nexes —N—). Si hi ha una sola capa de cèl·lules (epitelis simples), aquestes estan polaritzades amb un costat basal cap al teixit connectiu i vascular subjacent (**làmina pròpia**) i un altre extrem apical (també costats laterals). Així poden desenvolupar fenòmens d'absorció i secreció de molècules en els dos compartiments (endocitosi). Quan es formen diverses capes de cèl·lules epitelials predominen les funcions de protecció mecànica. En els epitelis hi ha normalment diferents tipus de cèl·lules amb origen, morfologia i funció diversos.



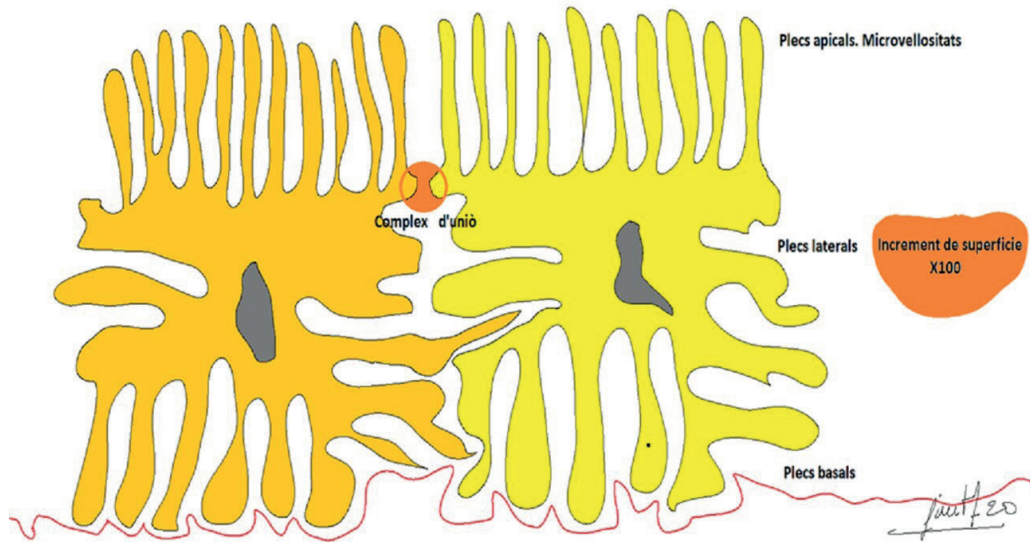
Pissarra 2. Agrupació d'alguns tipus cel·lulars en un epitel·li simple virtual



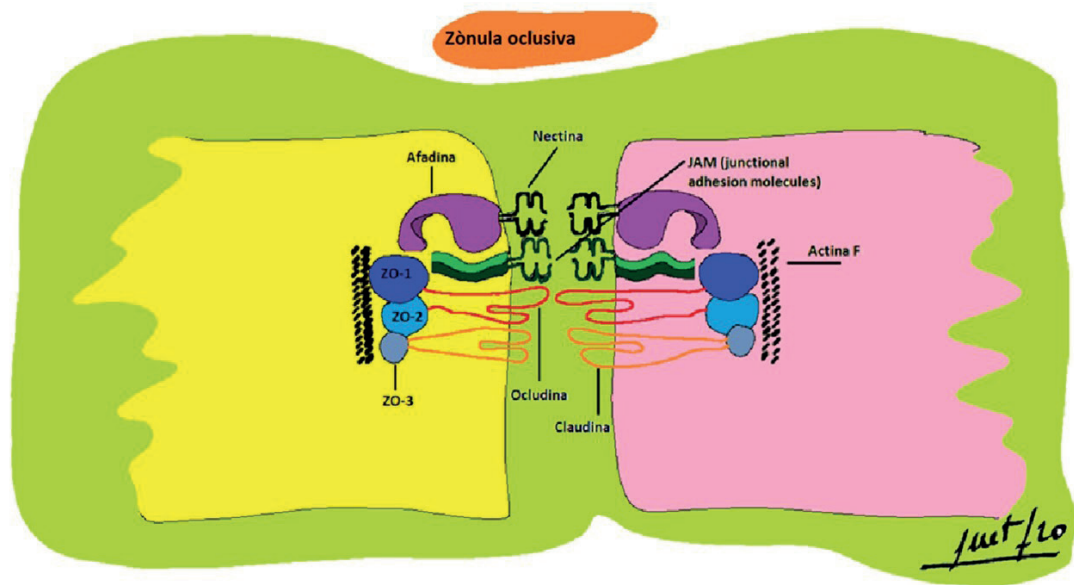
Pissarra 3. Diferents tipus d'epiteli



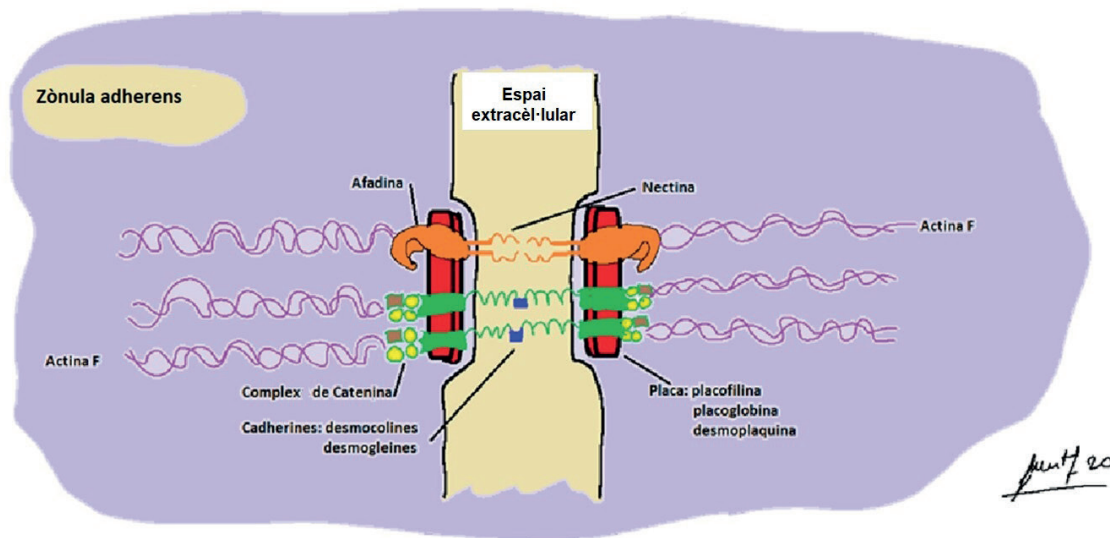
Pissarra 4. Queratinòcit



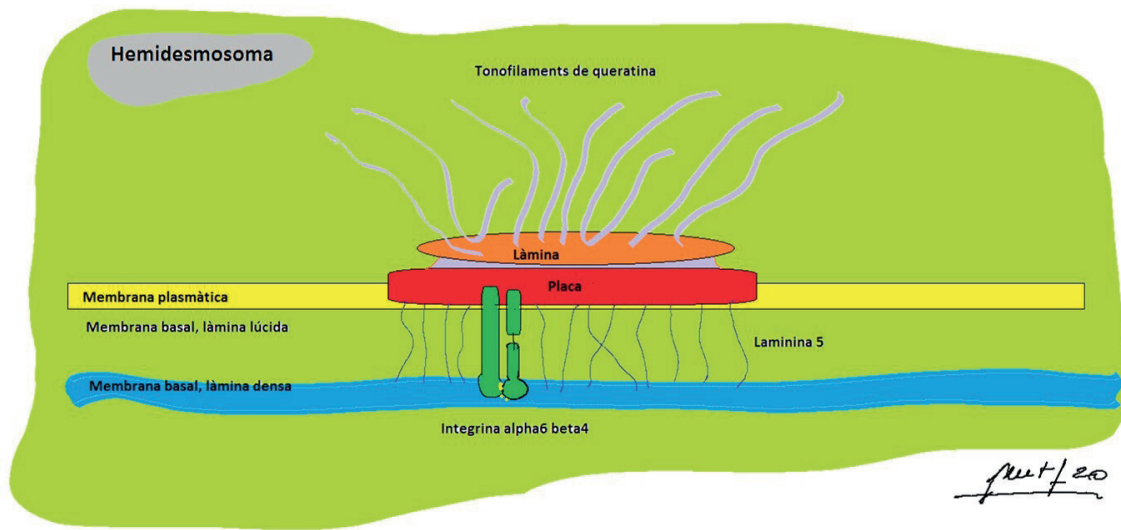
Pissarra 5. Plegament del plasmalemma per incrementar la superfície dels intercanvis



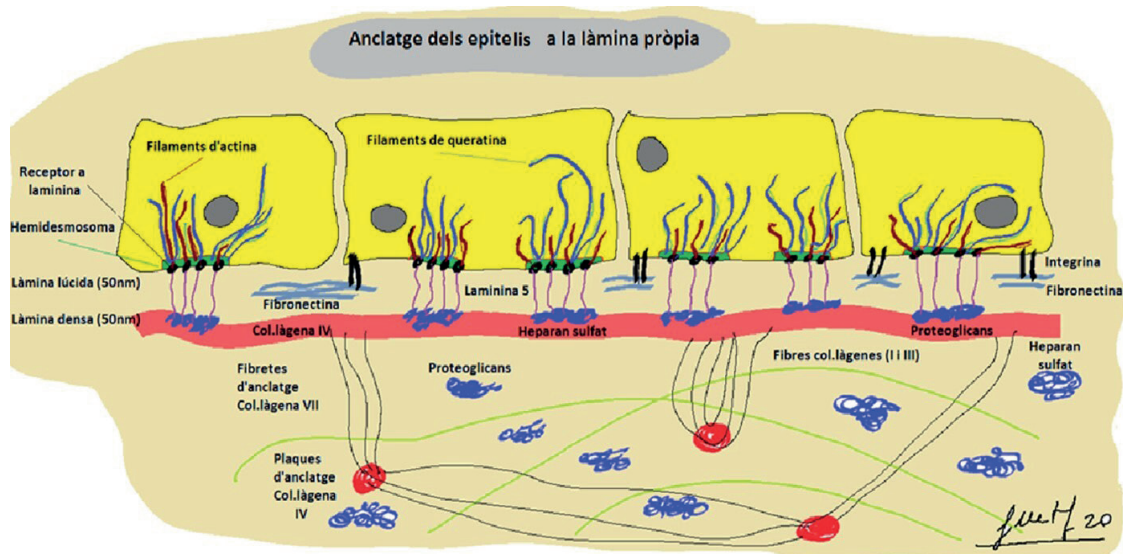
Pissarra 6. Zònula oclusiva



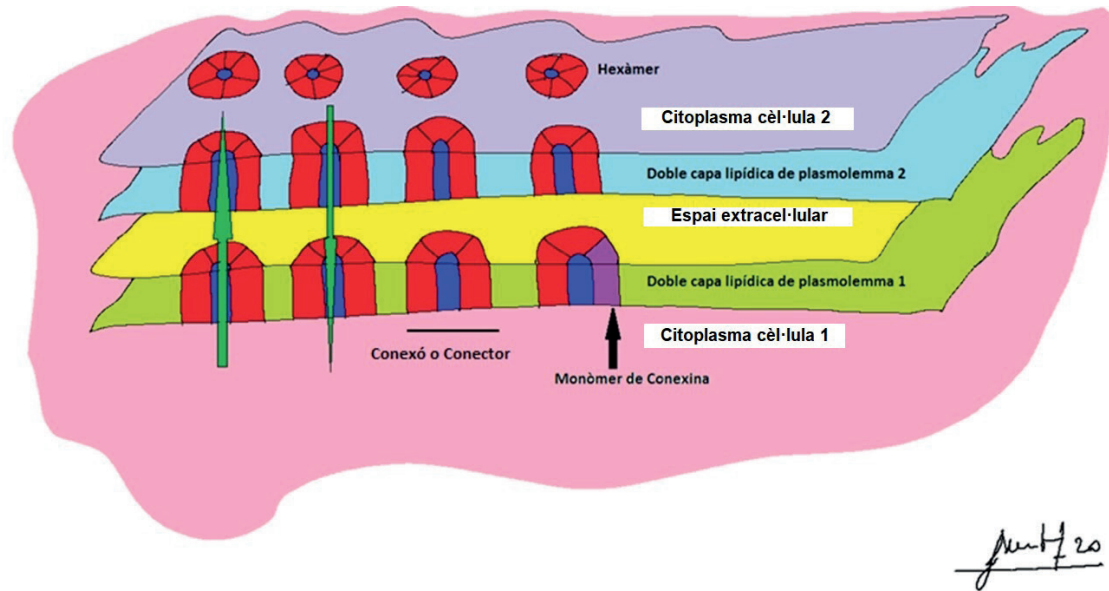
Pissarra 7. Zònula adherent



Pissarra 8. Hemidesmosoma



Pissarra 9. Làmina basal

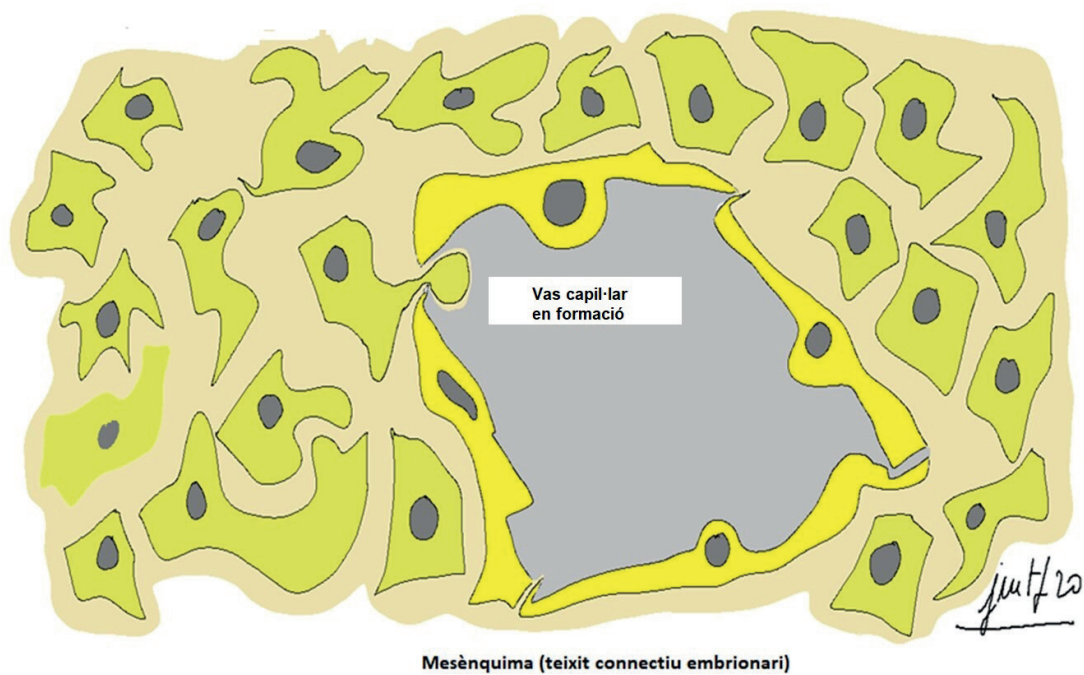


Pissarra 10. Nexe (gap junction)

Teixit connectiu

Teixit connectiu embrionari o mesènquima

El primer teixit connectiu que es forma durant el desenvolupament de l'embrió, entremig de les diferents capes epitelials embrionàries (ectoderma i endoderma) és el mesènquima. En aquest període fa inicialment importants funcions inductores per a la diferenciació dels epitelis embrionaris. A més a més, és el lloc on es formen el **teixits esquelètics** que sostindran l'estructura anatòmica de l'organisme (os, cartílag, lligaments, tendons, càpsules). És aquí, també, on les cèl·lules indiferenciades pluripotencials originen els **vasos** i creen les bases per a la comunicació intercel·lular entre els teixits propers o distants que s'han de coordinar; per tant, s'han de poder comunicar inicialment d'una manera senzilla i directa. Si no és possible, ho faran al través dels vasos.



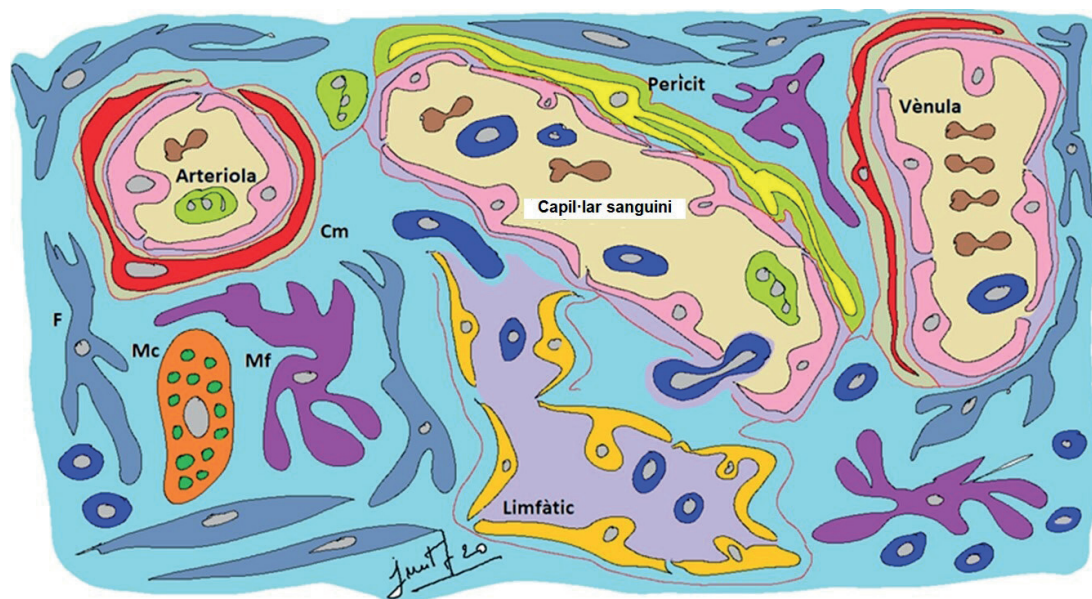
Pissarra 11.

El teixit connectiu i vascular com a eix de comunicació i intercanvi

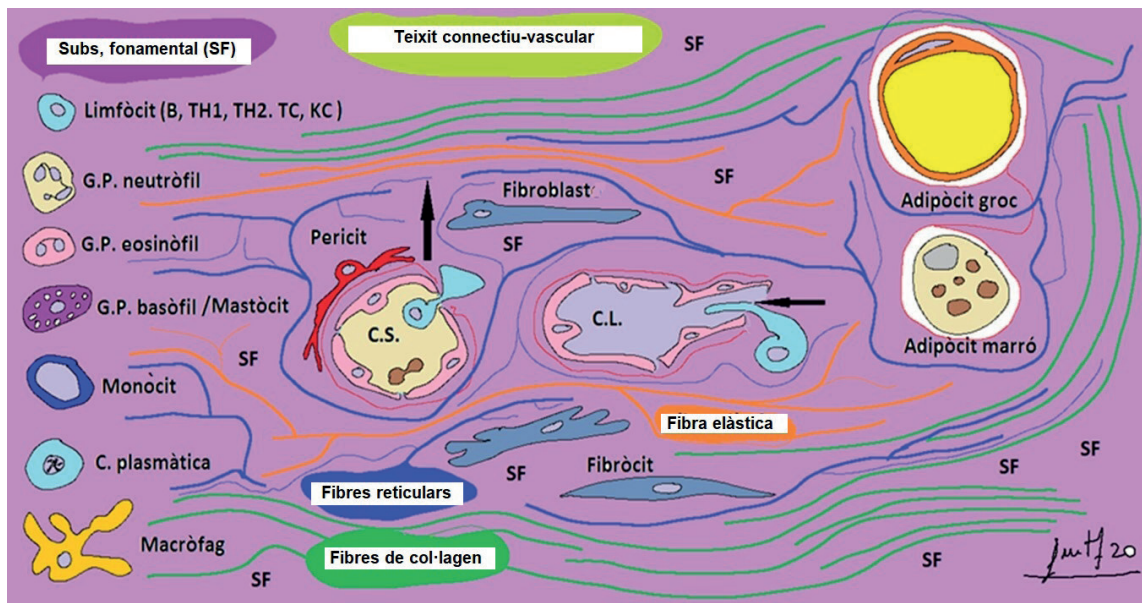
El teixit connectiu origina els **vasos sanguinis i limfàtics** (aquests darrers neixen directament en el teixit connectiu, CL) que discorren sempre per ell (A, Cm indica una cèl·lula muscular de la capa mitjana d'una arteriola). Amb comptadíssimes excepcions (còrnia, cartílag articular, epitelis poliestratificats) no hi cap cèl·lula del mateix o altres teixits allunyada més enllà d'uns micròmetres dels vasos capil·lars (CS). En aquest teixit hi són de passada (alguns, com els limfòcits, hi poden recircular) o s'instal·len tots els **leucòcits (cèl·lules defensives)** per fer-hi les seves funcions (B). A més, hi ha **cèl·lules fixes** (fibroblasts —F—, macròfags —Mf— residents o histiòcits, mastòcits —Mc— i adipòcits) per a la formació i el manteniment dels elements extracel·lulars estructurals (fibres de resistència —**col·làgenes**—, de suport estructural de cèl·lules —fibres **reticulars** ramificades— i fibres **elàstiques**). També una **substància amorfa fonamental (SF)** composta per mucoproteïnes capaç de retenir nivells alts d'hidratació per facilitar el pas de molècules senyalitzadores, nutritives i gasos. Associats a la paret dels capil·lars, hi ha **perícits** (cèl·lules mare mesenquimals i pluripotencials amb finalitat regenerativa).

El teixit connectiu està separat dels altres teixits per una **membrana basal** formada per laminina, fibronectina, col·làgena i glicosaminoglicans (C). El teixit connectiu i vascular lax associat als epitelis s'anomena **làmina pròpia**. En l'exemple es representen quatre teixits epitelials simples: l'epiteli absortiu intestinal i el secretor gàstric, el de la nansa de Henle i el tub col·lector de la nefrona.

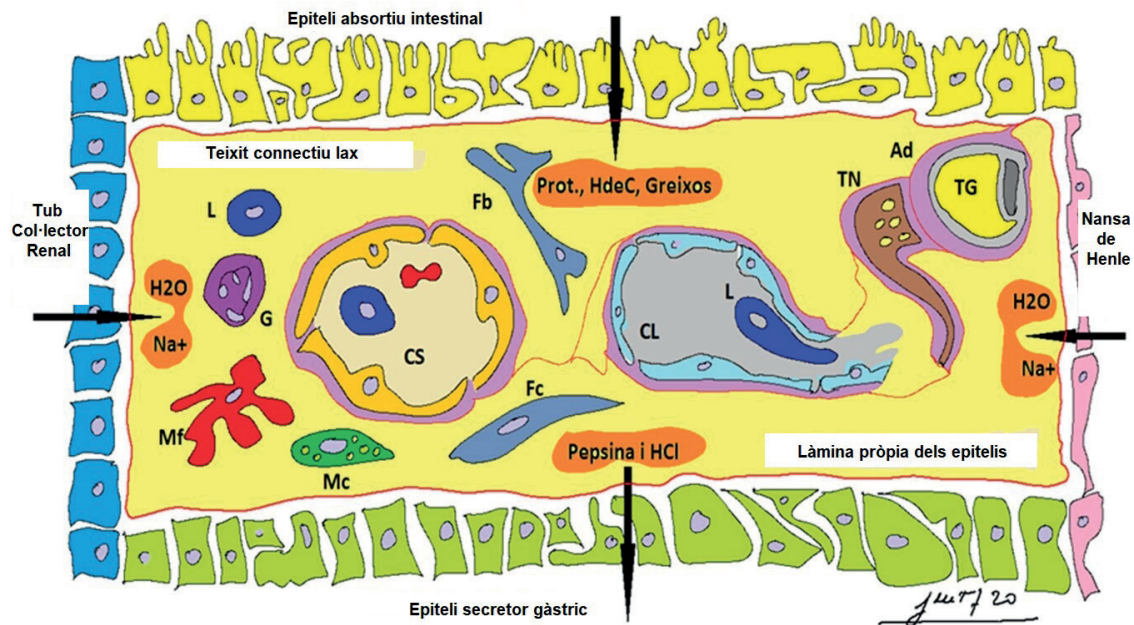
Terminació nerviosa (**TN**), adipòcit (**Ad**), triglicèrids (**TG**), fibròcit (**Fc**).



Pissarra 12. (A) Teixit connectiu lax vascular



Pissarra 13. (B) Teixit connectiu lax

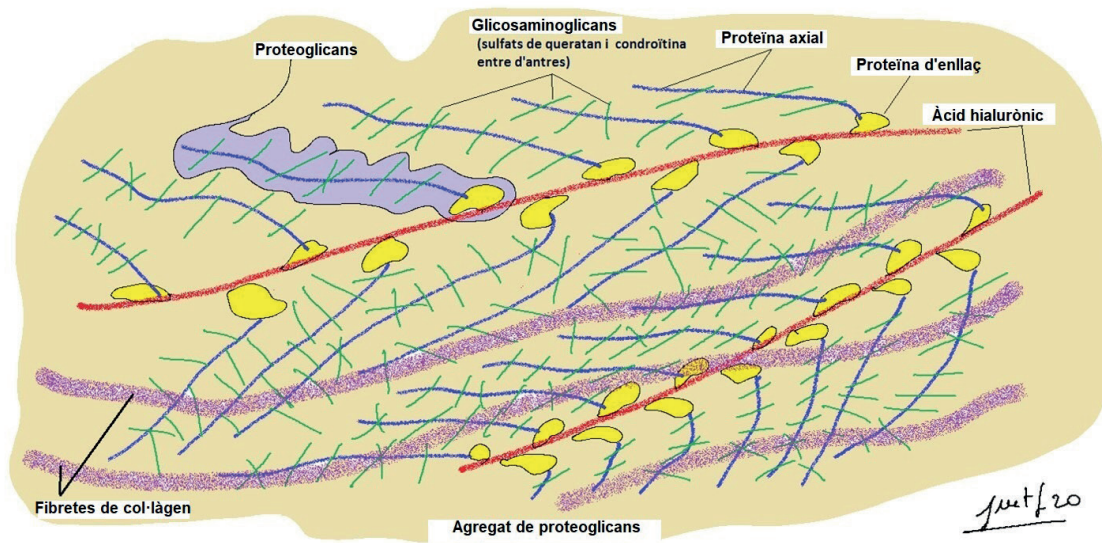


Pissarra 14. (C) Teixit connectiu. Làmina pròpia dels epitelis

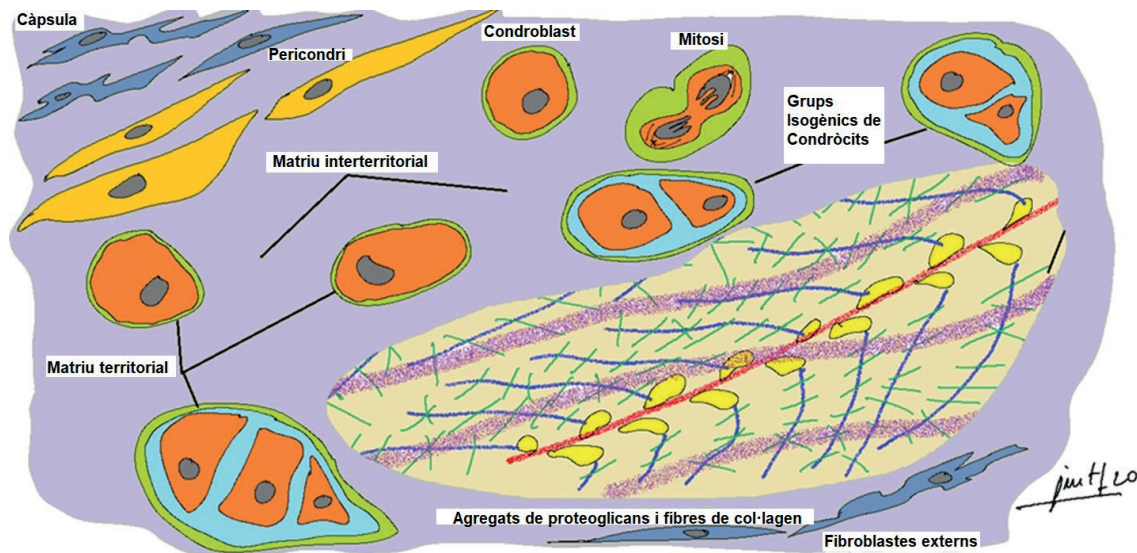
Teixits connectius esquelètics

El teixit connectiu embrionari, en diferenciar-se, també dona lloc als teixits esquelètics, especialment rics en material extracel·lular, que li confereixen resistència i elasticitat. Els **tendons, lligaments, aponeurosi, fàscies i càpsules** presenten fibroblasts i feixos de fibres de col·làgena agrupades en capes sobreposades amb les fibres orientades regularment en diferents direccions, o bé entrellaçades sense orientacions concretes. En el **teixit cartilaginós** es fa un pas més cap a la resistència i a banda dels condrocits i de les fibres (també elàstiques i reticulars), els glicosaminoglicans i proteoglicans, majoritàriament sulfatats, de la substància fonamental, incrementen la resistència. Finalment, en el **teixit ossi**, les fibretes col·làgenes i la substància fonamental contenen cristallets d'hidroxiapatita que calcifiquen l'estructura. Aquest teixit, format directament sobre el teixit connectiu (**ossificació desmal** o intramembranosa) o bé del cartílag (**ossificació endocondral**), es construeix (osteosíntesi) i es desfà (osteòlisi) constantment, amb la participació d'osteoblasts i d'osteoclasts al voltant dels vasos sanguinis que deixen construïdes o desfan làmines concèntriques calcificades perivasculars (**laminetes òssies**) que, en conjunt, formen **osteones**.

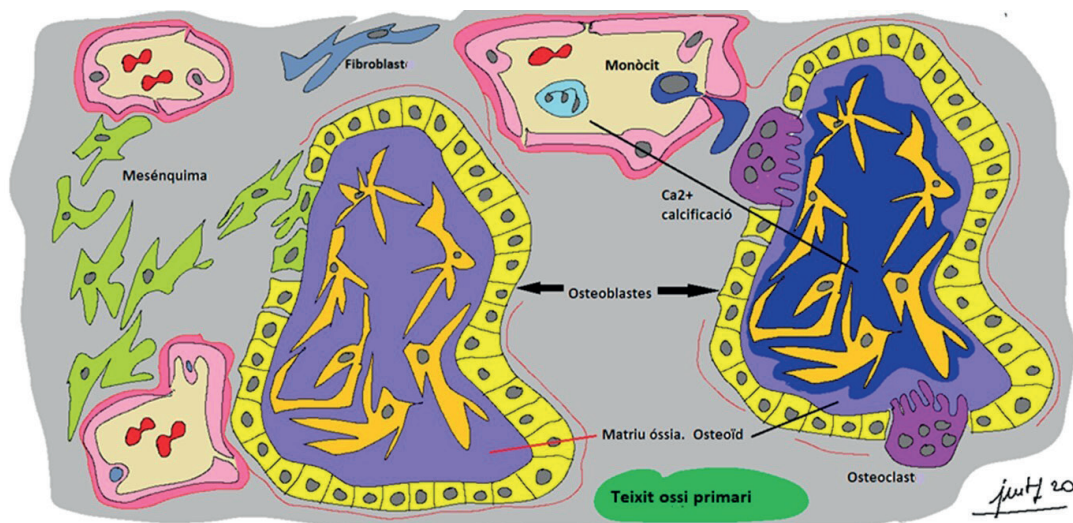
F, fibroblasts; **PE**, periosti extern; **PI**, periosti intern (osteoprogenitor); **COP**, cèl·lules osteoprogenitores; **LCE**, laminites circumferencials externes; **LI**, laminetes intersticials; **TOE**, laminita de teixit ossi esponjós; **CH**, canal vascular de Havers; **CV**, conducte vascular oblic de Volkmann.



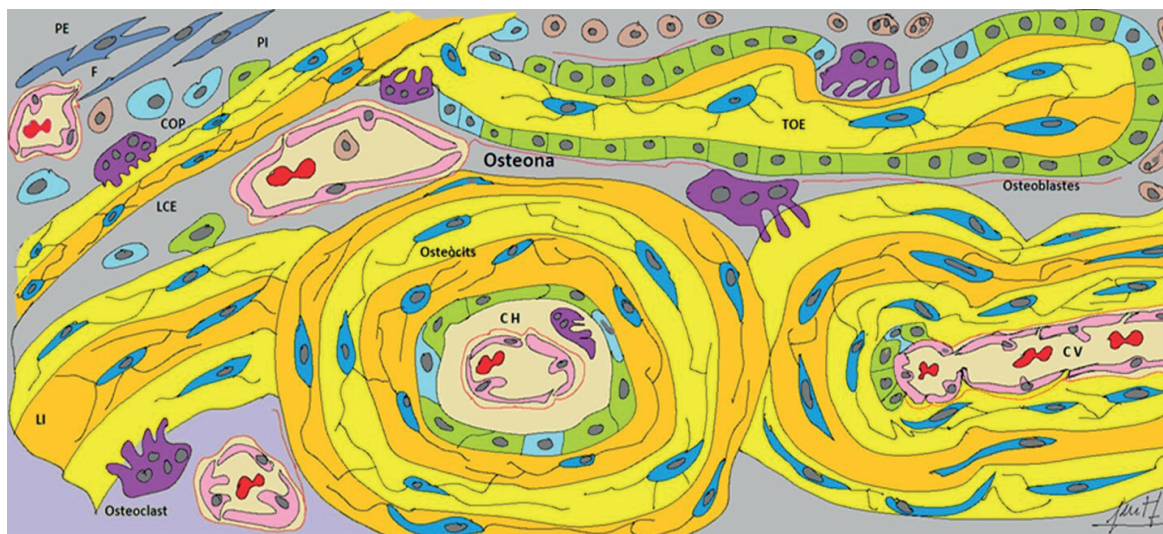
Pissarra 15. Substància fonamental, proteoglicans i fibretes col·làgenes



Pissarra 16. Cartílag



Pissarra 17. Ossificació desmal. Teixit ossi primari

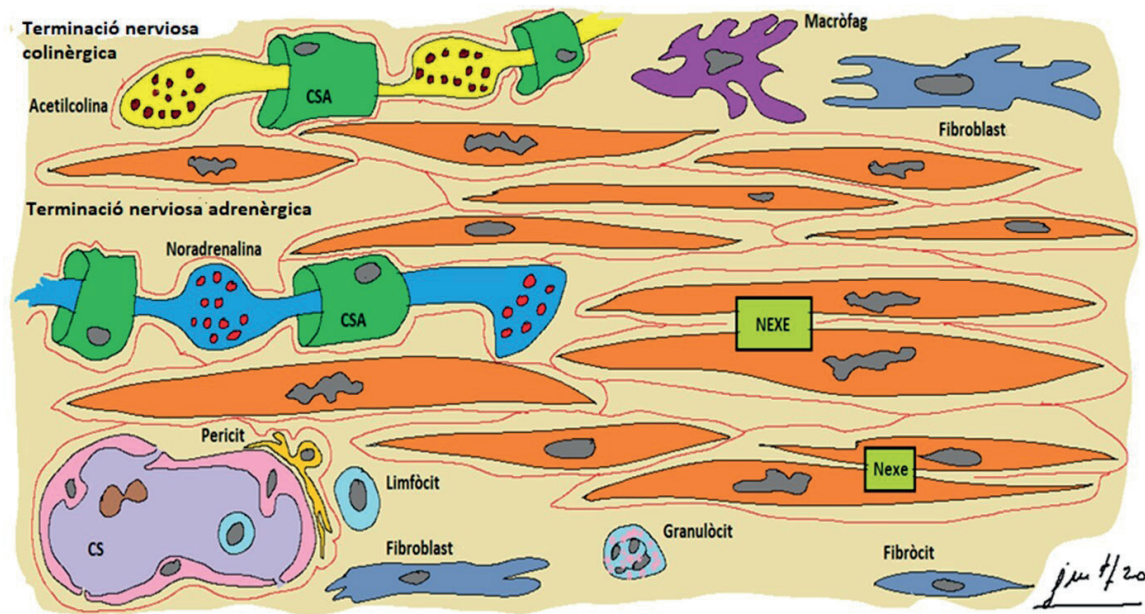


Pissarra 18. Teixit ossi laminar amb osteones

Teixit muscular

Múscul llis

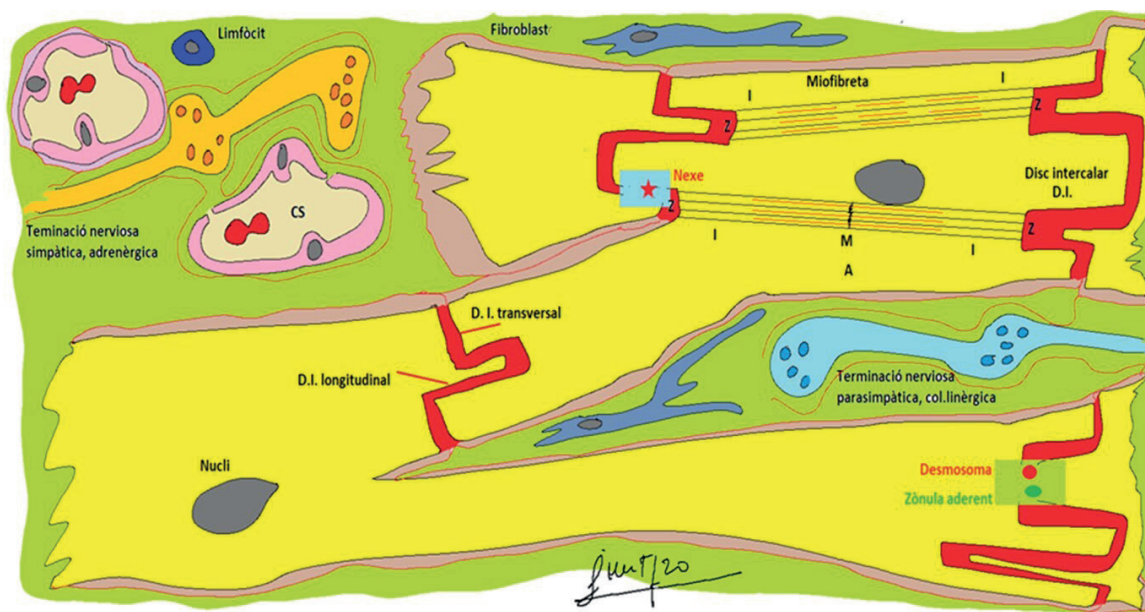
La varietat de teixit muscular llis està formada per l'agrupació de cèl·lules allargades (entre 10 (arterioles) -500 (úter) micròmetres de llargada) anomenades **fibres musculars**. No tenen una organització dels filaments contràctils tan estructurada com els altres tipus de cèl·lules musculars, de manera que el citoplasma no es veu estriat. Tampoc presenten el reticle sarcoplàsmic tan diferenciat ni el mecanisme de mobilització de calci que es comporta amb la mateixa efectivitat en el múscul estriat. Estan ancorades en el teixit connectiu que les engloba i estan comunicades entre si per nexes que permeten l'acoblament elèctric i la sincronització temporal i espacial de les contraccions. Generen contraccions normalment més lentes i sostingudes que la resta de músculs i es localitzen majoritàriament a les parets de les vísceres per produir moviments autònoms, com ara les contraccions peristàltiques dels budells. Aquests músculs estan innervats pel sistema nerviós autònom vegetatiu amb les dues branques: la simpàtica (amb el neurotransmissor noradrenalina que promou la contracció) i la parasimpàtica (amb acetilcolina que afavoreix la relaxació). La majoria de terminacions nervioses no acaben directament en les cèl·lules musculars i no formen sinapsis clàssiques. Els neurotransmissors, quan són alliberats, difonen per l'interstici i actuen en unes poques cèl·lules que traspassen la senyalització a les cèl·lules veïnes pels nexes. Hi ha un gran nombre de mediadors hormonals (oxitocina hipotalàmica, angiotensina, medul·lolipina, etc.) o locals (algunes amines del sistema APUD que també modulen la contractilitat d'aquestes fibres musculars. Cèl·lula de Schwann amielínica (CSA).



Pissarra 19. Muscle llis

Múscul cardíac

Les cèl·lules musculars cardíques són estriades, més petites que les esquelètiques i amb forma de «pantalons». Els filaments contràctils estan organitzats en miofibretes que formen **sarcòmers** i les línies Z terminals s'ancoren en el sarcolemma. El reticle sarcoplàsmic forma **díades** (no tríades) i els tubs T se situen sobre les línies Z, no damunt de l'encavalcament de les bandes A e I. Les superfícies d'unió dels miòcits veïns adopten una forma esglaonada, escalada, amb desmosomes i zònules adherents (ancorada) en els fragments transversals a l'eix major dels miòcits i nexes (acoblament elèctric i comunicació) en els segments longitudinals (paral·lels a l'eix major). Aquestes superfícies d'unió s'anomenen **discs intercalats**. Alguns miòcits contenen poc material contràctil i s'especialitzen a generar, conduir i transmetre directament els impulsos elèctriques a miòcits contràctils veïns (sistema de conducció cardíac, **fibres de Purkinje**). Algunes cèl·lules musculars sintetitzen i alliberen un mediador sistèmic anomenat **pèptid natriurètic** que emmagatzemen en grànuls densos i alliberen com a resposta als increments de pressió sanguínia (que estira els miòcits) per afavorir l'eliminació de sodi i aigua en els tubs distals i col·lectors de les nefrones i promoure, així, una disminució de la volèmia i pressió. Aquest pèptid acaba desenvolupant una funció similar (disminució de pressió) a la **medul·lolipina renal** i globalment contrària al parell de mediadors hormonals **angiotensina-aldosterona**. El miocardi està innervat (innervació difusa, intersticial) pel sistema nerviós vegetatiu adrenèrgic i colinèrgic.

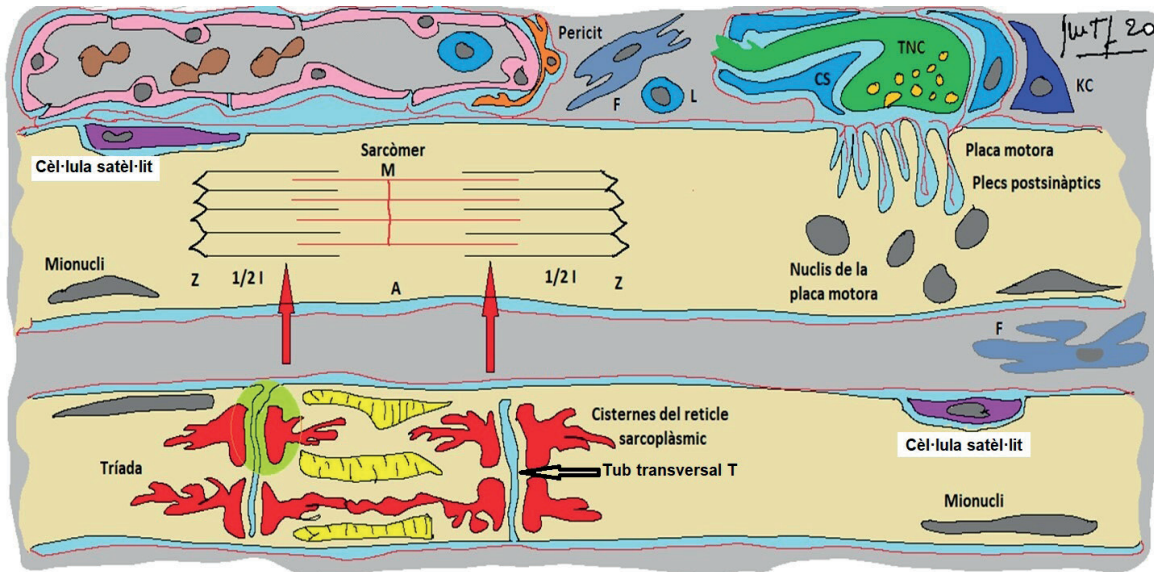


Pissarra 20. Múscul cardíac

Múscul esquelètic

El teixit muscular esquelètic té el nivell d'organització més alt de la maquinària contràctil amb miofibretes, sarcòmers i reticle sarcoplàsmic molt diferenciats i que ocupen la pràctica totalitat del sarcoplasma. Els nuclis (mionuclis) queden desplaçats cap a la regió subsarcolèmica. El reticle forma tríades amb els tubs T sobre l'encavalcament dels filaments primis d'actina amb els que són gruixuts de miosina. Les cèl·lules musculars formen fibres que poden ser tan llargues com el múscul però no estan unides per aparells d'unió i comunicació. Generalment, cada cèl·lula muscular està innervada en la seva regió central (**placa motora**) per una sola terminació nerviosa colinèrgica d'una motoneurona espinal o bulbar. El nombre de miòcits innervats per les ramificacions col·laterals d'una sola motoneurona s'anomena **unitat motora**. Incloses entre la membrana basal i el plasmalemma muscular, s'hi troben de tant en tant cèl·lules satèl·lits, que són mioblasts indiferenciats que poden incorporar-se al sincici de la fibra o bé proliferar i regenerar-la.

F, fibroblast; L, limfòcit; KC, kranòcit; CS, cèl·lula de Schwann; TNC, terminació nerviosa colinèrgica.

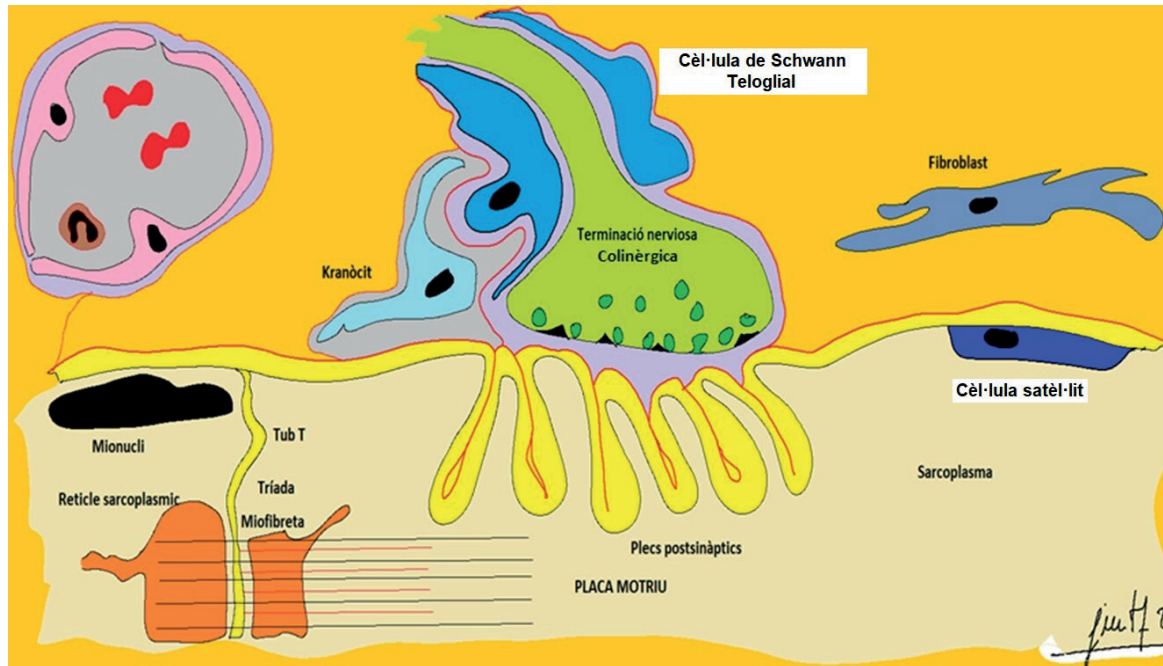


Pissarra 21. Múscul estriat esquelètic

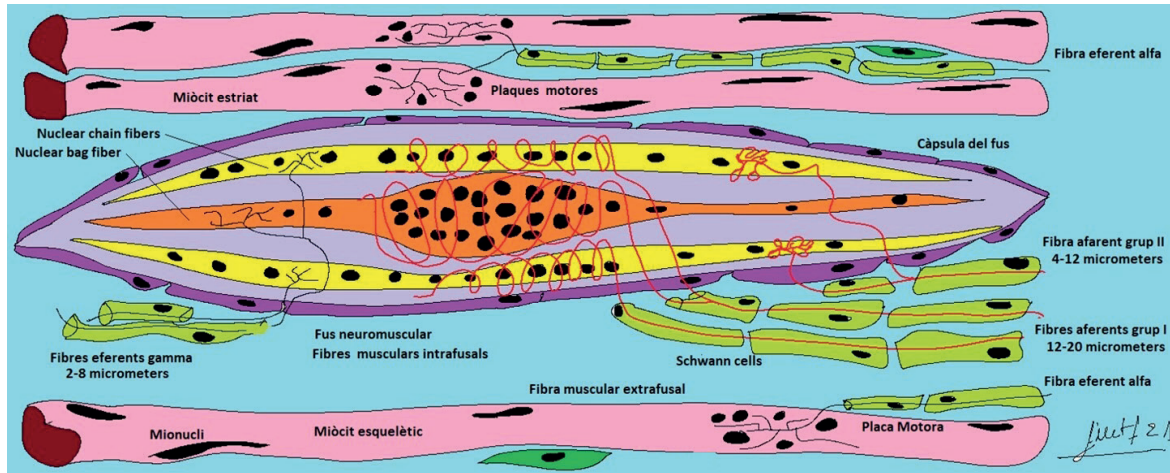
Placa motriu

La sinapsi neuromuscular es forma quan una terminació nerviosa d'una motoneurona contacta amb la regió central d'un miòcit. Aquesta regió s'anomena **placa motriu**. El sarcolemma s'enfonsa i forma una **fenedura sinàptica primària** en la qual s'originen plecs de plasmolemma cap a la profunditat (**plecs postsinàptics**). En la cúpula dels plecs es troben els receptors colinèrgics nicotínics, i més en profunditat, els canals de sodi, sensibles al canvi de voltatge transmembranari. Sota els plecs, en el sarcoplasma, presenta abundants nuclis específics anomenats **nuclis del sol de la placa**. La terminació nerviosa és el component presinàptic amb vesícules que contenen el neurotransmissor acetilcolina. Algunes vesícules s'associen íntimament a regions densificades de la membrana presinàptica, anomenades **zones actives**, que contenen la maquinària molecular per dur a terme una exocitosi ràpida. La terminació nerviosa està envoltada (menys en el punt de contacte a prop de la membrana postsinàptica) per diverses cèl·lules de Schwann amielíniques anomenades **telòglia**. En aquesta localització, també es troben altres cèl·lules anomenades **kranòcits**, amb una funció desconeguda.

En pràcticament tots els músculs esquelètics podem trobar algunes agrupacions d'unes poques cèl·lules musculars especialitzades, dins una càpsula connectiva i profusament innervades per fibres nervioses sensibles (Ia, dendrites perifèriques de protoneurons sensibles ganglionars). Aquestes estructures s'anomenen **fusos neuromusculars**, i el seu estirament, passiu o actiu, activa canals iònics sensibles a la deformació mecànica en la terminació nerviosa espiral que les envolta. A més, produeix senyals elèctrics cap al sistema nerviós central vitals per al manteniment de l'equilibri i la postura.



Pissarra 22. Placa motriu. Sinapsi neuromuscular



Pissarra 23. *Fus neuromuscular*

Teixit nerviós

Neurones

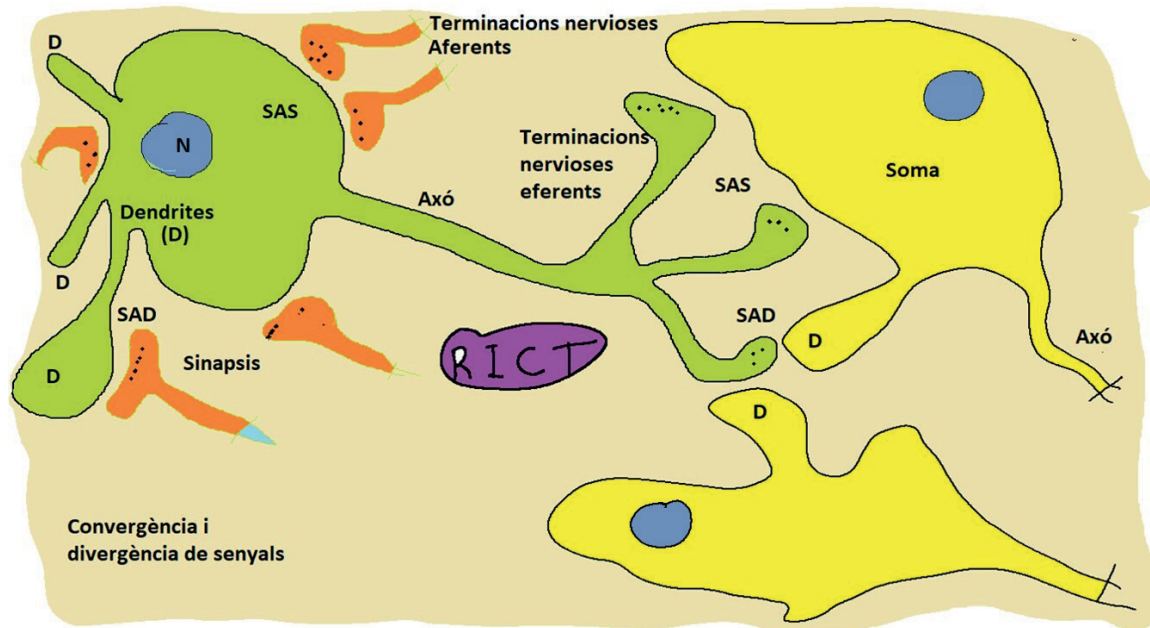
Les neurones (**A**) són la unitat bàsica de **recepció, integració, conducció i transmissió** de senyals (RICT) per fer possible una comunicació a distància ràpida i precisa (que no permet el sistema endocrí i vascular). Qualsevol part del sistema nerviós desenvolupa aquestes quatre funcions. Les neurones tenen prolongacions receptores (**D**, dendrites, receptores de sinapsis i senyals juntament amb el soma, centrípets) i una prolongació llarga (axó, centrífuga, que es ramifica en l'extrem final). Així, múltiples i diferents senyals conflueixen en una neurona (convergència i **recepció**), que les **integra** bàsicament en el conus d'origen de l'axó. Aquesta prolongació **conduïx** ràpidament un senyal (de freqüència variable) que finalment **s'envia** per totes les ramificacions cap a altres neurones (divergència). Sinapsis axodendrítiques (**SAD**); sinapsis axosomàtiques (**SAS**).

Recepció i integració. **Sinapsis axodendrítiques** (generalment en **espines dendrítiques**) i **axosomàtiques** amb diversos neurotransmissors (en el sistema nerviós central, el principal excitador —despolaritzador— és el glutamat i els inhibidors —hiperpolaritzadors—, el GABA i la glicina), activen **receptors ionotòpics** (deixen passar directament ions) catiónics (Ric) i aniónics (Ria) (**B**). També hi ha **receptors metabotòpics** acoblats a vies moleculars intracel·lulars que poden acabar regulant canals iònics operats per mediadors intracel·lulars. Els fluxos iònics transmembranaris (entrada i sortida de la membrana seguint els gradients de concentració —químics— i elèctrics)

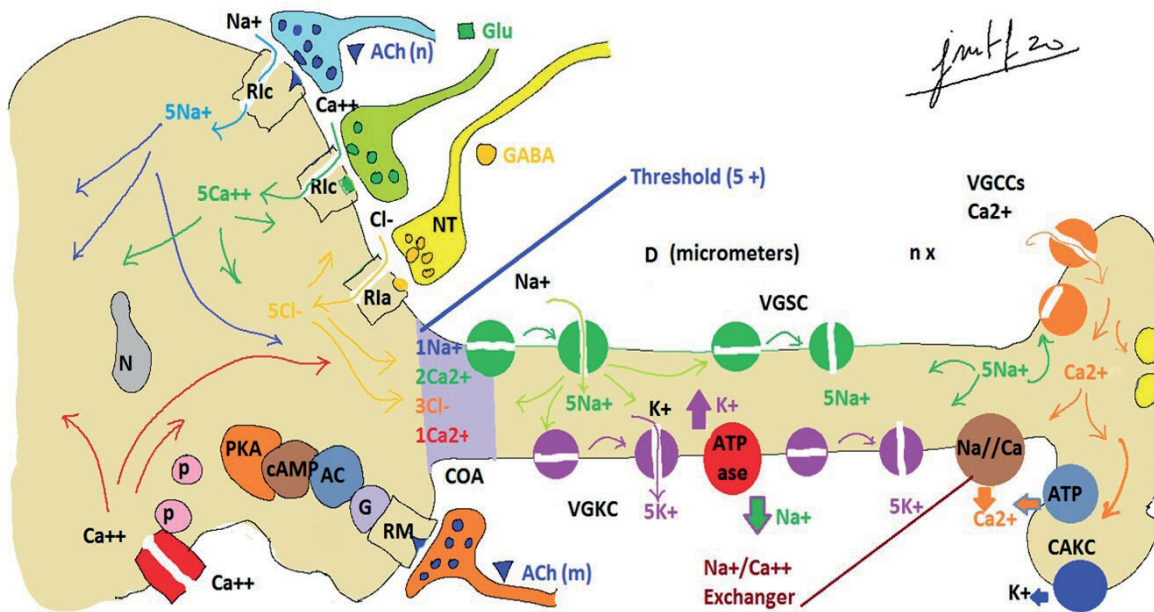
generen corrents elèctrics cap a l'interior del neuroplasma, positius (despolaritzants perquè en repòs l'interior de la membrana és negatiu) o negatius (hiperpolaritzants), en funció del ió que es mou segons el canal activat. Els corrents iònics pel neuroplasma es condueixen de forma passiva, s'amorteixen i alenteixen en recórrer pocs micròmetres entre membranes i proteïnes, i no són adequats per senyalitzar llargues distàncies. Malgrat aquesta dificultat, té un avantatge important: en funció de la distància (de les sinapsis que han generat aquests corrents) del **conus d'origen de l'axó**, petites fraccions de corrent poden arribar al conus i produir-hi un petit canvi de voltatge transmembranari. El conus presenta una densitat adequada de sensors d'aquest corrent i voltatge (canals de sodi — **VGSC**— i potassi —**VGKC**—) sensibles al voltatge, vegeu també C i D). Els corrents positius (generats en sinapsis excitadores) i negatius (en sinapsis inhibidores sovint situades estratègicament a prop del conus), grans o petites segons la distància, que coincideixen en un moment concret en el conus se sumen algebraicament. El resultat pot ser una despolarització prou gran per arribar al límit (sostre, **llindar**) necessari per activar els primers canals de sodi de l'axó.

Conducció i transmissió. El canal de sodi sensible al voltatge conté, en la part citoplasmàtica del pèptid, abundants aminoàcids catiónics (arginina i lisina) que, quan detecten les càrregues positives sumades finalment en el conus, es desplacen, canvien la conformació del canal i augmenten la probabilitat d'obertura amb l'entrada de sodi a favor de gradient electroquímic (C i D). La despolarització resultant a sota del canal afecta el segon canal (o grup de canals) pel mateix procediment, i així fins al final de la prolongació axonal. Es produeix de forma automàtica un o una tanda de **potencials d'acció**. En cada punt (cada molècula de canal), el fenomen s'atura

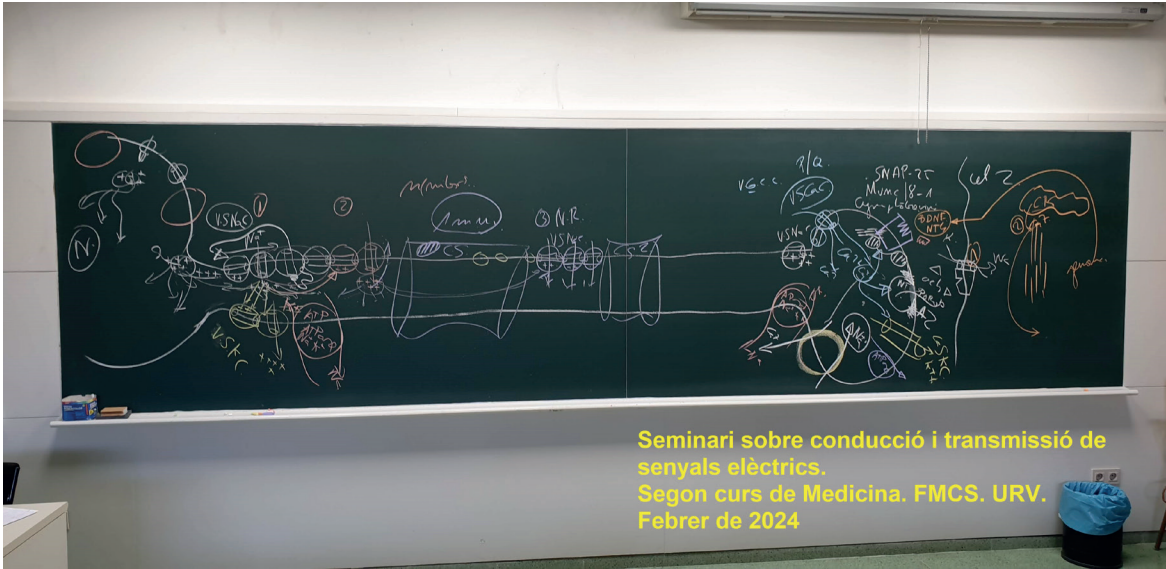
per inactivació subsegüent del canal obert (tancament) i per la repolarització immediata de la membrana en obrir-se (pel mateix mecanisme): canals de potassi sensibles al voltatge presents en el veïnatge. En sortir potassi seguint el seu propi gradient, extrau càrregues positives que contraresten les introduïdes pel sodi; la membrana de l'axó es repolaritza. Seguidament, una **bomba de sodi-potassi** (una ATPasa) restaura les concentracions dels ions als dos costats del plasmalemma a una velocitat diferent (més lenta). Grups de canals de sodi poden estar separats en el plasmalemma de les fibres nervioses mielíniques, i això pot facilitar la conducció saltatòria entre els grups consecutius (D). En les terminacions nervioses hi ha canals de calci sensibles al voltatge (VGCC) que s'obren en detectar la despolarització iniciada per l'activació seqüencial dels canals de sodi. El calci que entra (està 10.000 vegades més concentrat a fora) activa l'exocitosi de neurotransmissor i l'ió mateix és extruït per una bomba (ATPasa) i per un **intercanviador calci-sodi**. No obstant això, sovint la repolarització immediata de la terminació nerviosa la pot desenvolupar un canal de potassi sensible al calci intracel·lular (CAKC i CGKC) i que deixa sortir potassi.

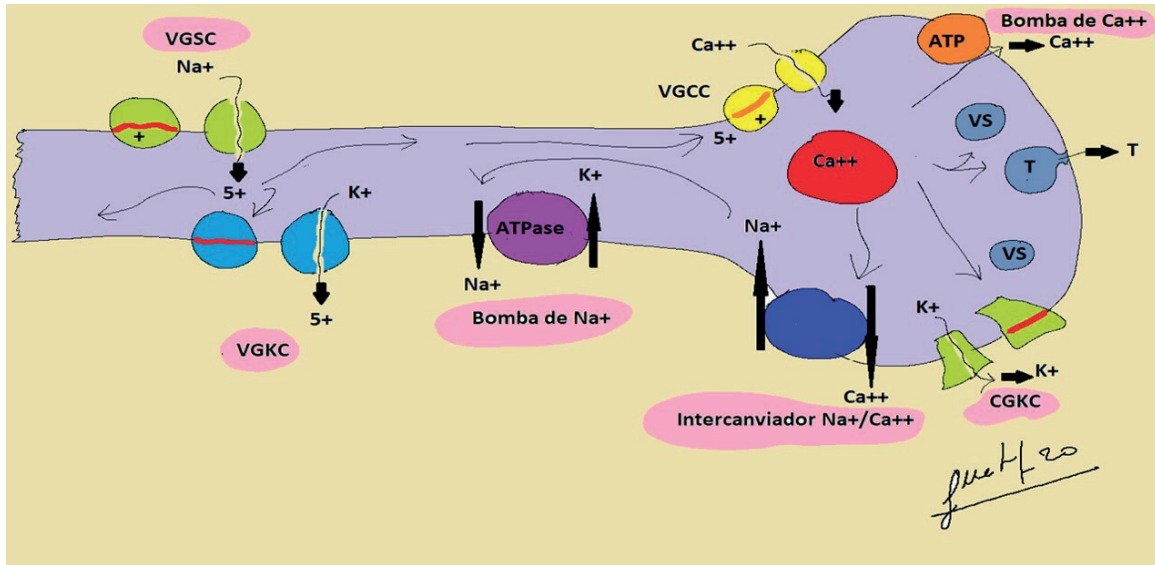


Pissarra 24. Neurones

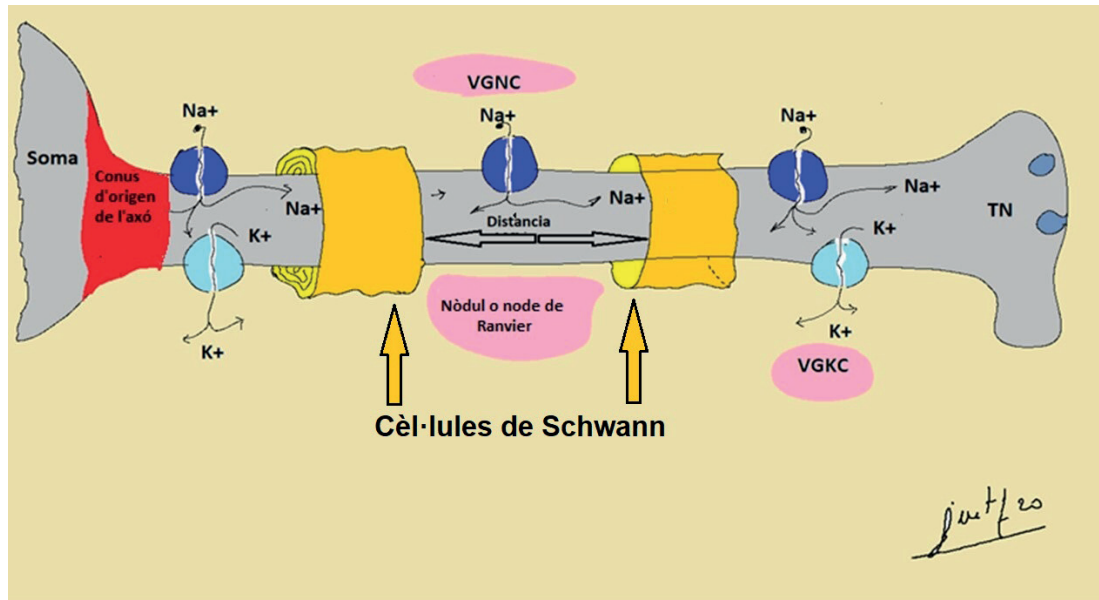


Pissarra 25a. Recepció, integració, conducció i transmissió de senyals





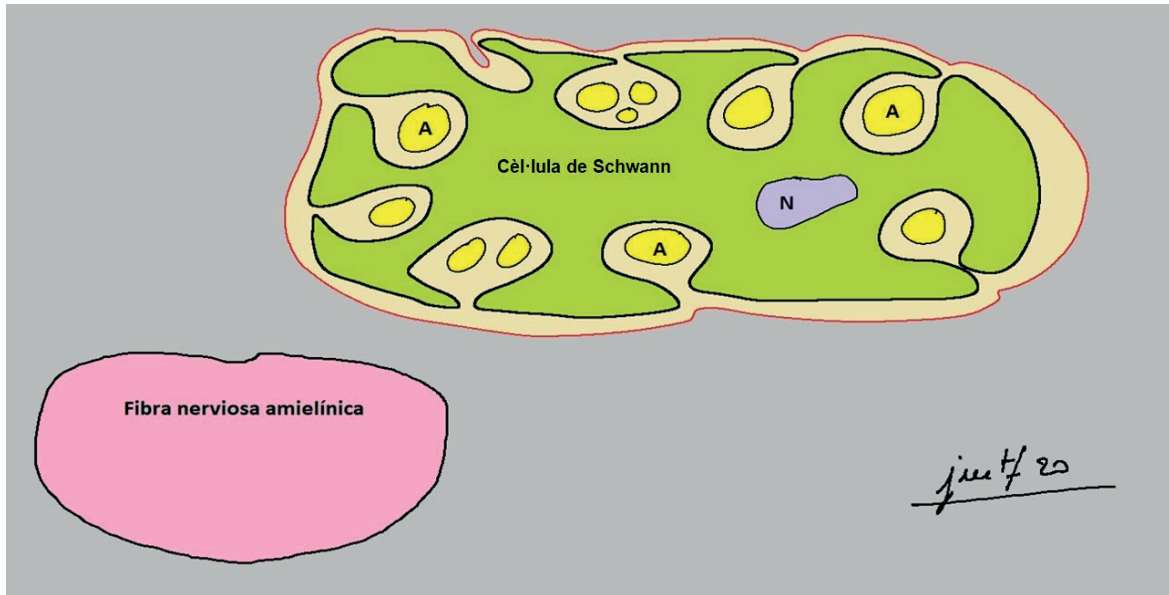
Pissarra 26. Conducció i transmissió



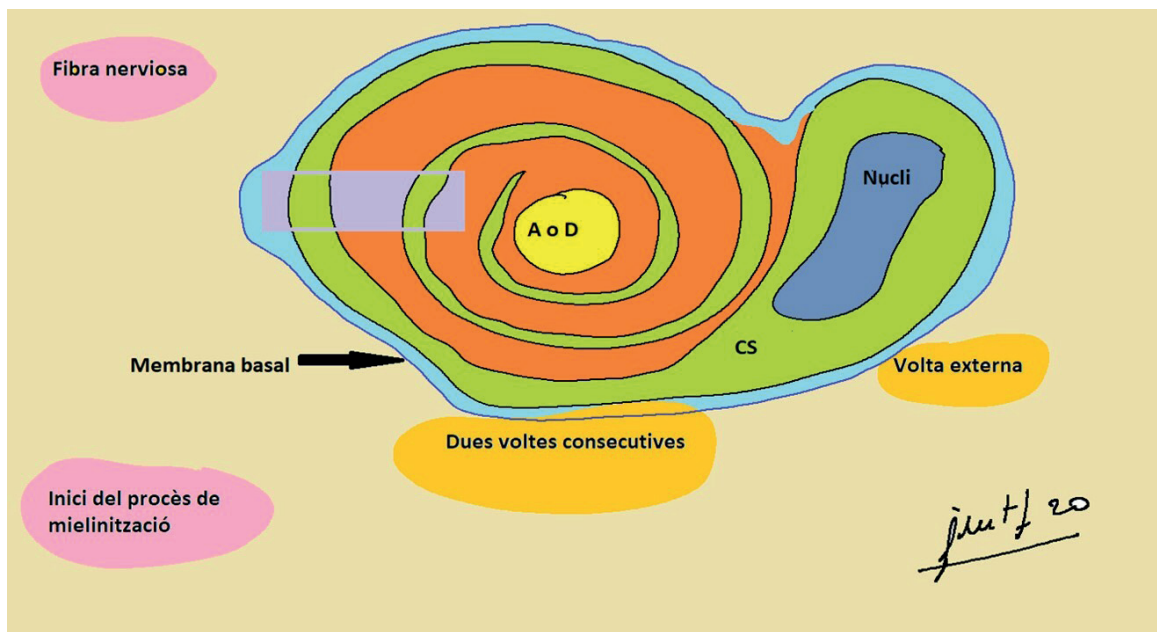
Pissarra 27. Conducció i transmissió. Formació de mielina

Fibres nervioses

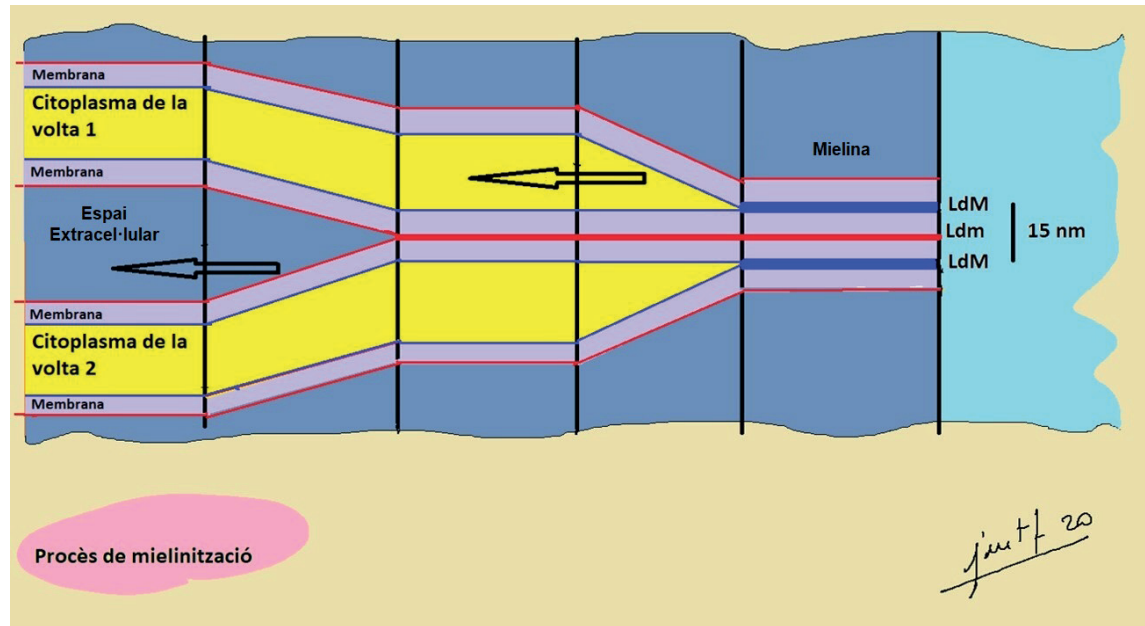
Una fibra nerviosa està formada per una prolongació axonal (senyalització centrífuga des del soma) o bé dendrítica (conducció centrípeta), sovint indistingibles morfològicament, amb canals iònics sensibles al voltatge (conduïxen potencials d'acció) i que estan associades a cèl·lules glials que les envolten, les aïllen elèctricament i les mantenen. Les cèl·lules glials són els **oligodendròcits** en el sistema nerviós central, i les **cèl·lules de Schwann** en el sistema nerviós perifèric. Les fibres nervioses poden ser amielíniques (**A**), si la cèl·lula glial tan sols cobreix les prolongacions cel·lulars juntes o separades. Poden ser mielíniques si envolten repetidament (fins a 100 voltes) una prolongació neural i donen lloc a una estructura anomenada **mielina** (**B**). La mielina (**C**) es forma per l'eliminació pràcticament total de l'espai extracel·lular entre les voltes consecutives de la cèl·lula glial i perquè el citoplasma de les voltes és desplaçat i segrestat en la darrera (més exterior) volta de la cèl·lula glial, la que conté el nucli i orgànuls. **LdM**, línia densa major; **Ldm**, línia densa menor.



Pissarra 28. (A) Fibra nerviosa amielínica



Pissarra 29. (B) Fibra nerviosa mielínica



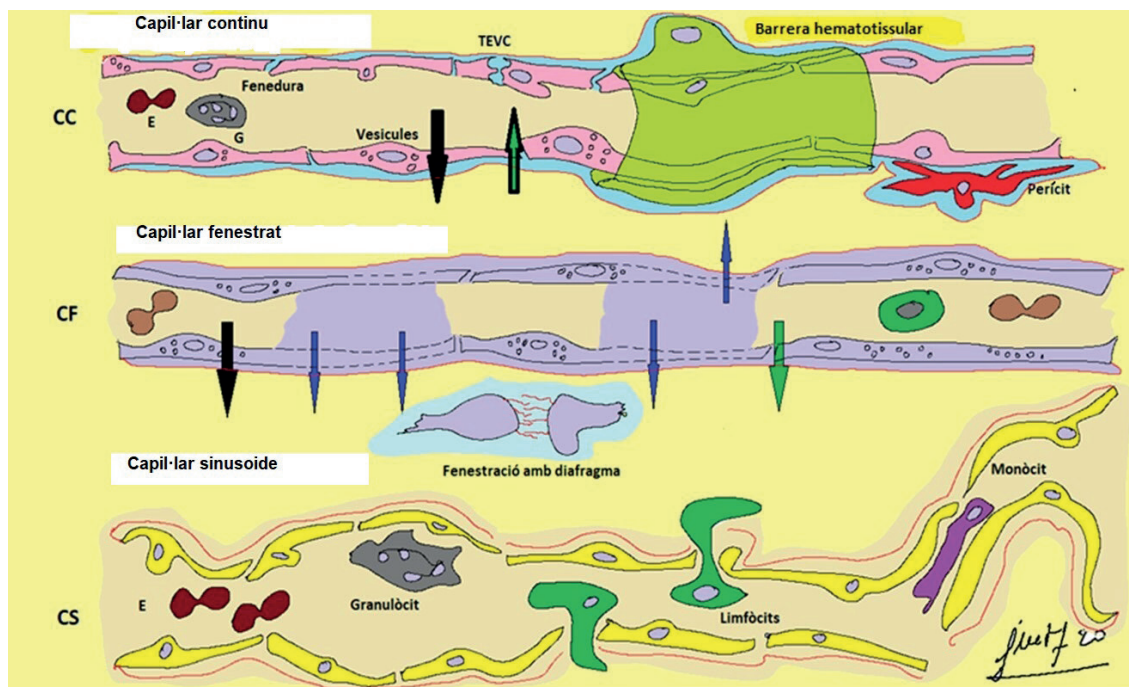
Pissarra 30. (C) Formació de mielina

2. Els vasos grans: comunicació a distància lenta

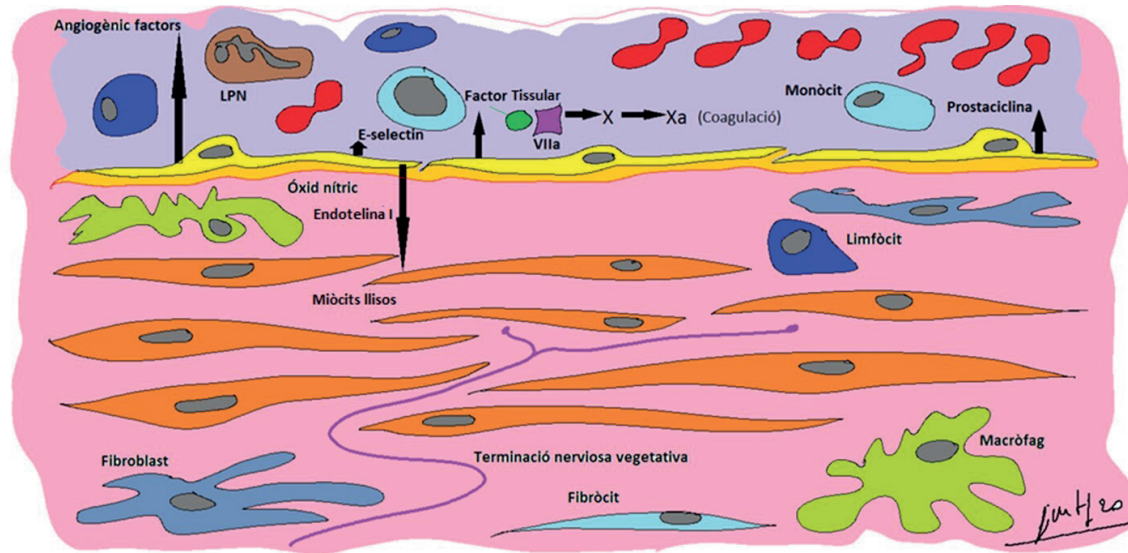
Els vasos grans: comunicació a distància lenta

Vasos capil·lars

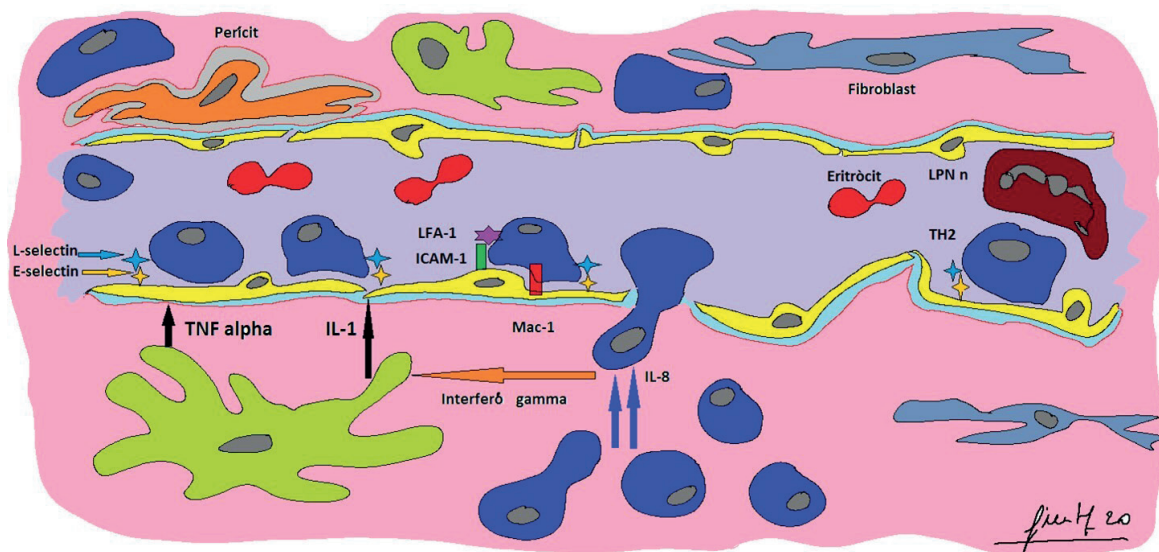
Els capil·lars tenen l'estructura vascular més simple. Estan formats només per l'equivalent a la capa interna o íntima dels grans vasos (endoteli i làmina pròpia) però en algunes parts externes estan coberts per **perícits** o cèl·lules mesenquimals indiferenciades. En algunes localitzacions, les cèl·lules externes s'associen a la paret de capil·lars per formar una barrera hemato-tissular, com l'hematoencefàlica, l'hematotímica o l'hematotesticular. Hi ha capil·lars continus (CC), fenestrats (CF) i sinusoides (CS). Tots desenvolupen funcions de permeabilitat i d'intercanvi, i també de secreció. La permeabilitat té lloc a través d'escletxes entre les cèl·lules endotelials, de transport vesicular, canals vesiculars transendotelials (TEVC) i fenestracions (amb diafragma o sense). Les cèl·lules endotelials dels capil·lars secreten localment moduladors de la tonicitat de les cèl·lules musculars llises de la paret de vasos arterials propers (endotelina i endotelina òxid nítric), factors de coagulació com el factor de Von Willebrand, molècules de la membrana basal i de la matriu extracel·lular i molècules adhesives i atraients per leucòcits. Els trombòcits poden reparar lesions de capil·lars i altres vasos quan s'adhereixen al subendoteli.



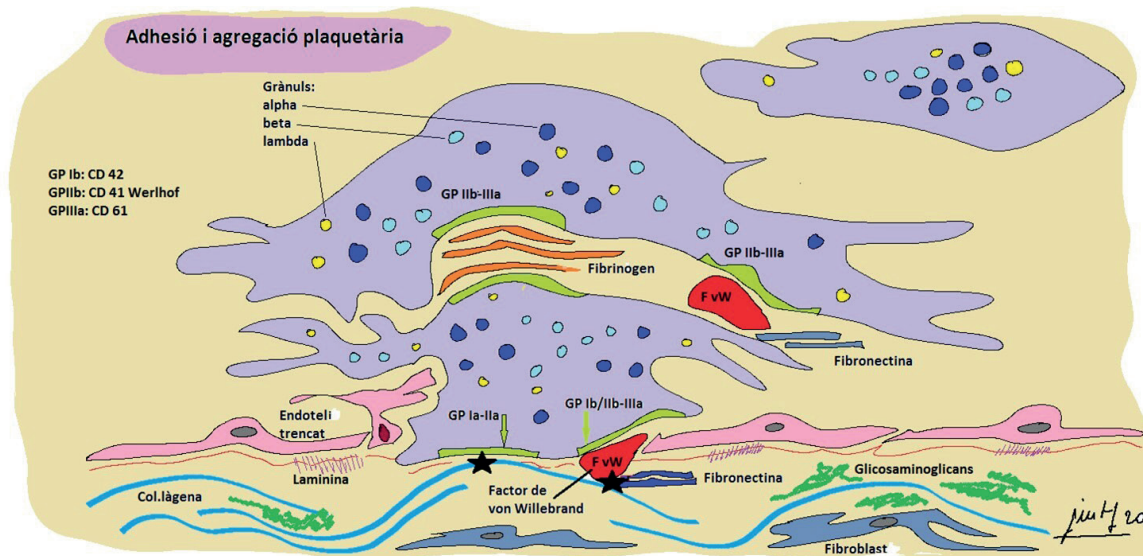
Pissarra 31. Tipus de capil·lars



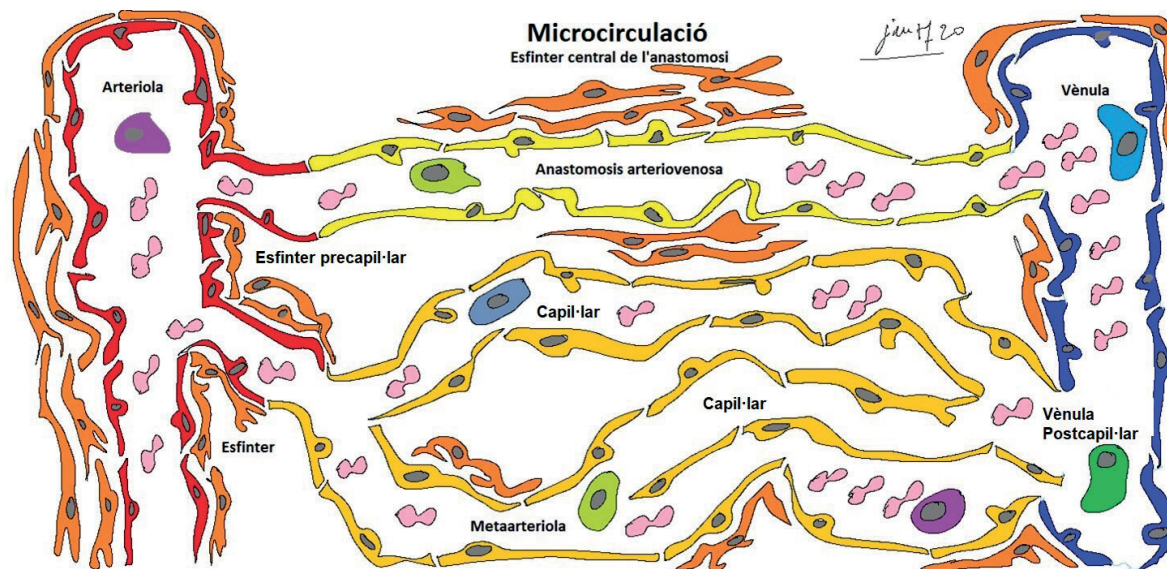
Pissarra 32. Funcions de l'endoteli



Pissarra 33. Leucodiapedesi



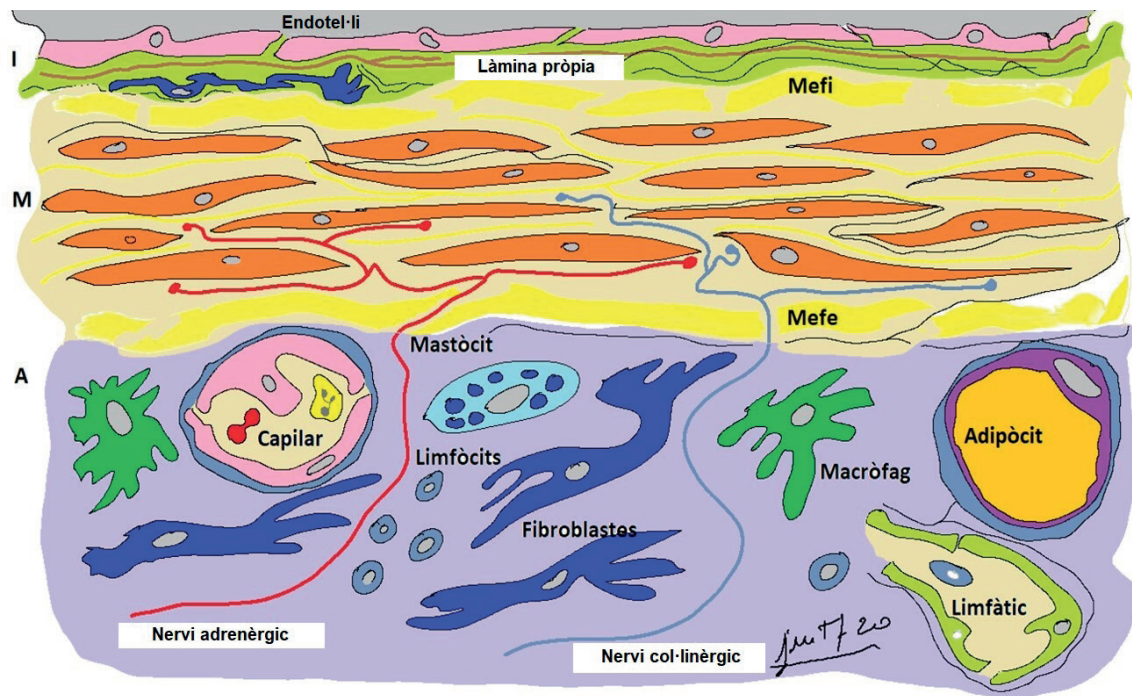
Pissarra 34. Trombòcits



Pissarra 35. Anastomosi arteriovenoses

Grans vasos

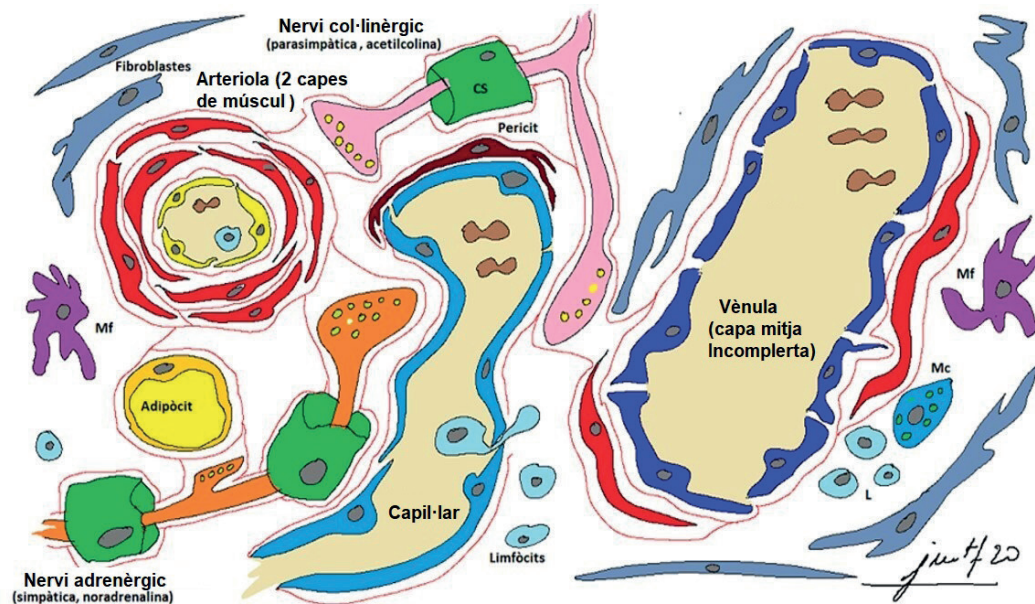
Els grans vasos, artèries i venes de tots els diàmetres exerceixen una funció conductora i hemodinàmica ja que poden regular la pressió sanguínia. El **pla general de disseny estructural** d'aquests vasos està format per tres capes concèntriques amb diferents nivells d'organització estructural en els vasos, que són de mida i posició diferents. La capa més interna s'anomena íntima (**I**) i està formada per l'epiteli endotelial i la fina làmina pròpia. La capa mitjana (**M**) és muscular i elàstica amb proporcions diverses de cèl·lules musculars llises, fibres i membranes de material elàstic (elastina). En les artèries grans, la capa està limitada per la membrana elàstica interna (**Mefi**) i l'externa (**Mefe**) ben desenvolupades. La capa més externa (**A**, adventícia) és de teixit connectiu més dens que el de la làmina pròpia, allotja tota mena de cèl·lules connectives, disposa de petits vasos propis (*vasa vasorum*) per a la irrigació de la part més externa dels grans vasos, i és el lloc d'entrada de fibres nervioses vegetatives simpàtiques i parasimpàtiques.



Pissarra 36. Disseny estructural dels grans vasos

Arterioles i vènules

Les **arterioles** són els vasos distribuïdors més petits (més endavant es troben els vasos capil·lars d'intercanvi). Estan formades per les tres capes, íntima, mitjana i adventícia, però són molt simples. La mitjana té entre una i dues capes de cèl·lules musculars. Si hi ha una sola capa i aquesta és discontinua, el vas s'anomena **metaarteriola**. La mitjana pot contenir una membrana elàstica fenestrada normalment en posició interna. Les arterioles estan innervades per terminacions nervioses simpàtiques (alliberen **noradrenalina** i provoquen la contracció de les cèl·lules musculars) i parasimpàtiques (alliberen **acetilcolina** i les relaxen), procés que permet la regulació sistèmica neural de la pressió sanguínia. La tonicitat muscular també respon a mediadors produïts localment per les cèl·lules endotelials de la íntima (òxid nítric —relaxa— i **endotelina I** —contrau—) i a l'arribada d'**angiotensina** d'origen renal i pulmonar, i que és la molècula reguladora sistèmica, hormonal de la pressió sanguínia (la incrementa), juntament amb el **pèptid natriurètic auricular** (d'origen cardíac) i la **medul·lolipina** (d'origen renal) que la disminueix (vegeu múscul cardíac). Així, és important la regulació fina de la pressió en la qual participen coordinadament mecanismes sistèmics i locals, neurals i hormonals. Les **vènules** presenten una paret més prima, una llum més ampla i capes mal definides amb una mitjana i adventícia que sovint es confonen. En les primeres venes postcapil·lars, la llum més ampla provoca una caiguda de pressió, això afavoreix l'alentiment i l'aproximació a la paret de la capa íntima dels leucòcits circulants, que així tenen més fàcil la translocació al teixit connectiu perivascular i on podran exercir funcions defensives. **Mf**, macròfag; **Mc**, mastòcit; **L**, limfòcit; **CS**, cèl·lula de Schwann.



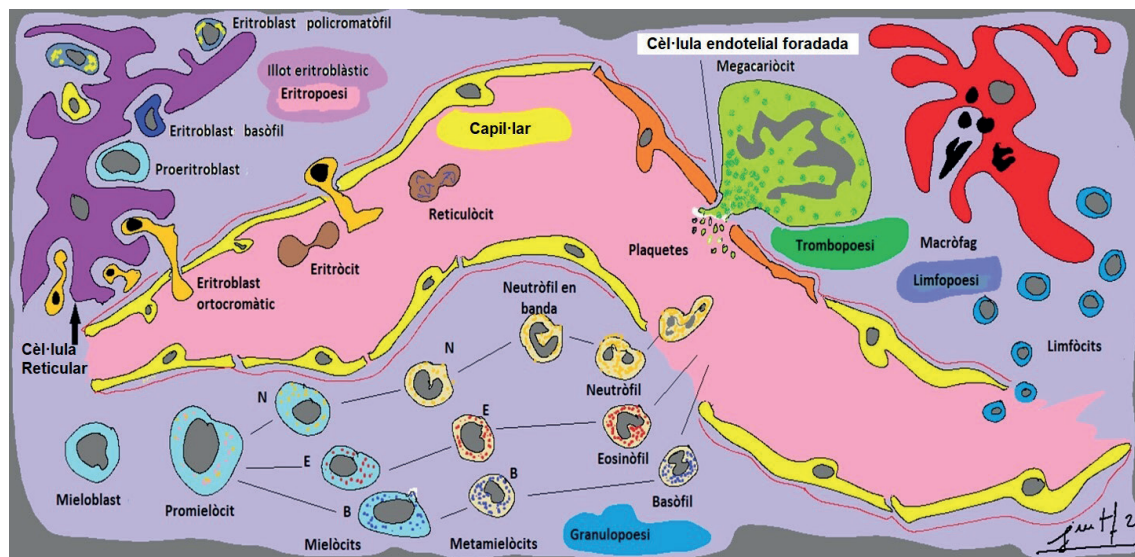
Pissarra 37. Arterioles i vènules

3. Els òrgans immunitaris: moviment de leucòcits

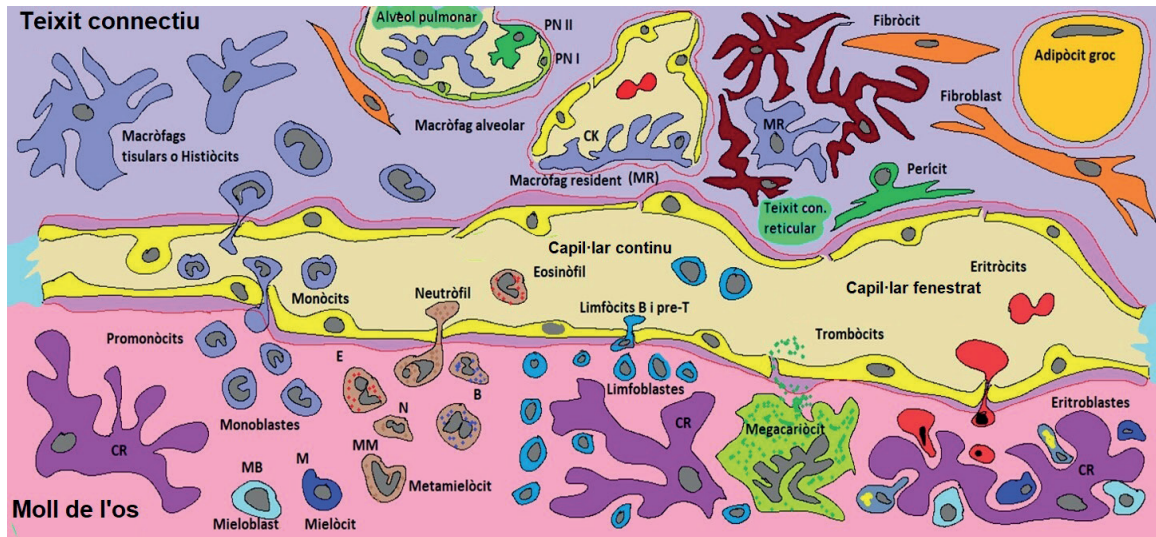
Moll de l'os

La medul·la òssia hemopoètica (A i B) es localitza en els ossos de l'esquelet axial. En els altres ossos la medul·la està ocupada per teixit adipós groc. És un teixit reticular (connectiu lax) d'origen mesenquimal molt vascularitzat amb abundants sinus venosos. En els espais que hi ha entre les cèl·lules reticulars s'allotgen les cèl·lules hemopoètiques. Totes estan formades a partir d'una cèl·lula mare pluripotencial (**hemocitoblast**), que respon amb la producció d'una línia o una altra segons la modulació per **interleucines** que detecta (produïdes localment o distalment) per les cèl·lules reticulars, els limfòcits, etc.). La línia de proliferació i diferenciació eritroblàstica (**eritropoesi**) produeix eritròcits a partir d'un **proeritroblast**. La **granulocitopoesi** produeix granulòcits dels tres tipus a partir d'un **mieoblast**. En la línia que produeix granulòcits neutròfils, també es poden diferenciar **monoblasts** i monòcits (**monocitopoesi**). La **limfopoesi** produeix **limfoblasts** i limfòcits B i pre-T. Les plaquetes es formen gràcies al trencament del citoplasma d'un gran **megacarioblast** (trombocitopoesi). N, neutròfil; E, eosinòfil; B, basòfil.

La monocitopoesi (B) produeix monòcits que, quan passen a la circulació sanguínia i circular, s'instal·len en els teixits com a macròfags fagocítics (**histiòcits**) residents o mòbils. En els capil·lars hepàtics (cèl·lules de Kupffer), dins els alvèols pulmonars, en els òrgans limfoides, en el teixit nerviós (microglia), per tot el teixit connectiu. Formen el sistema reticuloendotelial (SRE) o sistema mononuclear fagocític (**SMF**) amb funcions fagocítiques defensives i presentadores d'antígens. (MR), macròfag resident; (CK), cèl·lula de Kupffer; PN I Kupfferita II, pneumòcits.



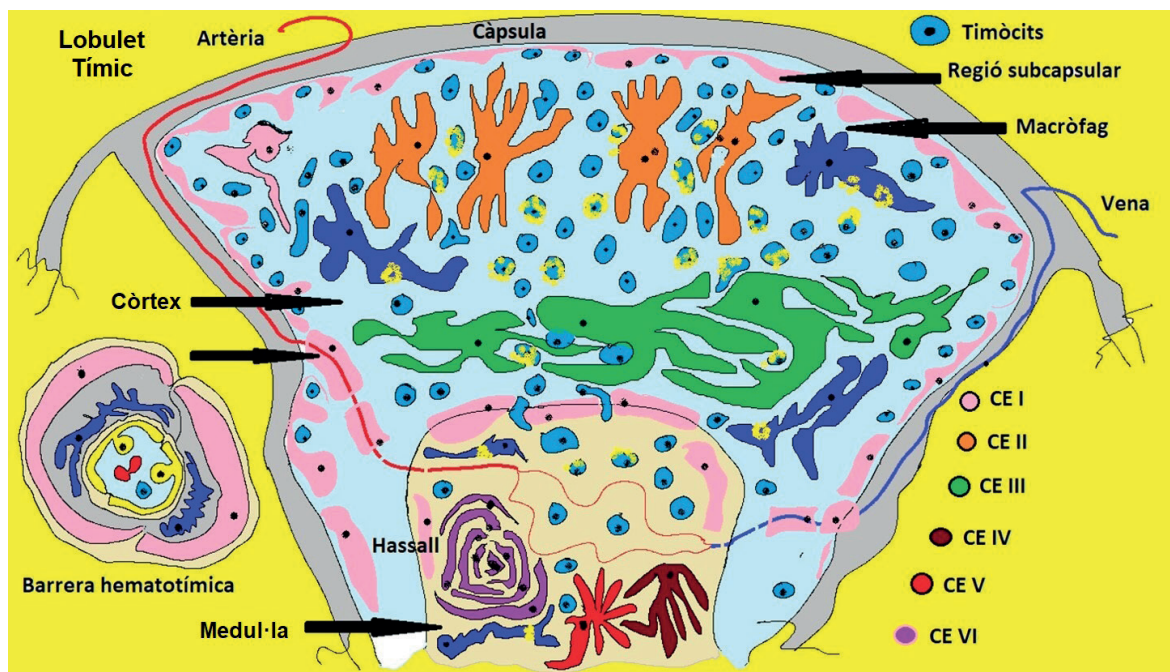
Pissarra 38. Moll d'os hematopoètic



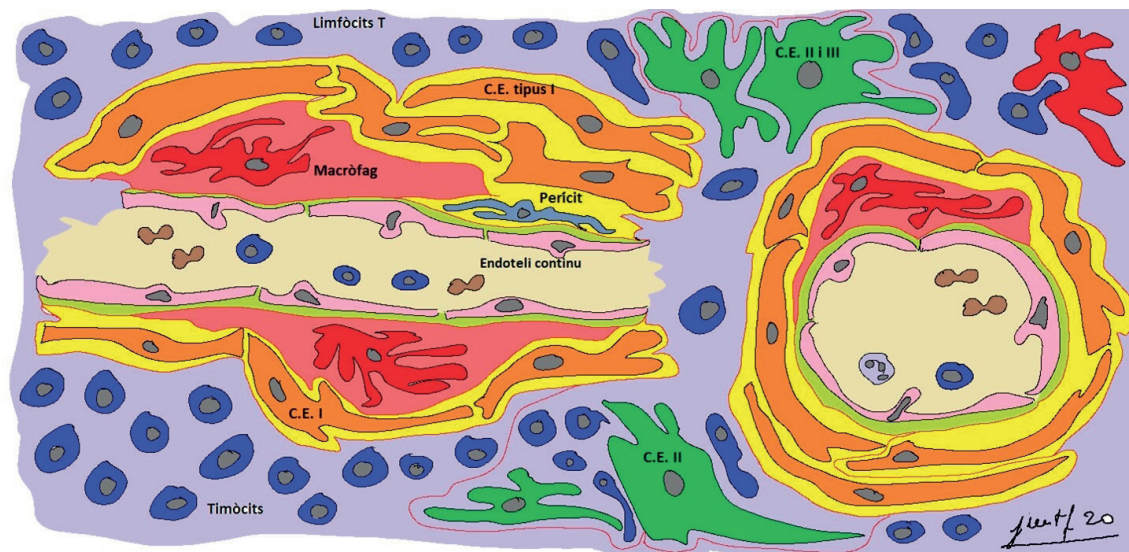
Pissarra 39. Sistema mononuclear fagocític

Timus

El timus és un òrgan **limfoide primari** per produir inicialment els limfòcits (juntament amb el moll de l'os). En el moll de l'os es produeixen directament **limfòcits B** (dotats amb una immunoglobulina receptora específica a la membrana) i **limfòcits pre-T** que han de passar pel timus per adquirir competència immunològica (un receptor de cèl·lula T específic —TCR—). El timus està dividit en lobulets separats per envans de teixit connectiu i una càpsula. Cada lobulet consta d'un còrtex i una medul·la ocupats per un teixit reticular d'origen epitelial ectodèrmic. Tenim sis tipus de cèl·lules epitelials, I-III al còrtex i IV-VI a la medul·la. Els limfòcits pre-T s'instal·len en el còrtex superficial i en uns quants dies van passant entre les cèl·lules epitelials que, amb la dotació de molècules presentadores del sistema principal d'histocompatibilitat (MHC) de classe I (6 varietats) i de classe II (sis varietats), s'asseguren que els limfòcits pre-T produeixen i tenen operatives les molècules CD4 (els limfòcits T_H) o CD8 (els T_C) que són imprescindibles perquè, més endavant, les cèl·lules presentadores d'antígens en els teixits perifèrics (limfòcits B i macròfags com a professionals amb CD4) i també qualsevol cèl·lula (amb CD8) els puguin presentar antígens. Els limfòcits pre-T que no desenvolupen correctament aquesta funció són reconeguts i eliminats (**selecció positiva**). Més avall, en el límit corticomedul·lar i a la medul·la, les cèl·lules epitelials ja disposen (amb les molècules presentadores del MHC) dels nous limfòcits T (que a més d'un CD4 o CD8 correctes, han produït un receptor TCR específic, propi i individual), tota una gamma de molècules pròpies produïdes sota la influència del factor de transcripció **AIRE** (autoimmune regulador). Els limfòcits T que reconeixen molècules pròpies amb un TCR particular són eliminats (**selecció negativa**) per apoptosi induïda a fi d'evitar malalties autoimmunes quan surtin del timus. CE 1-VI; cèl·lules epitelials.



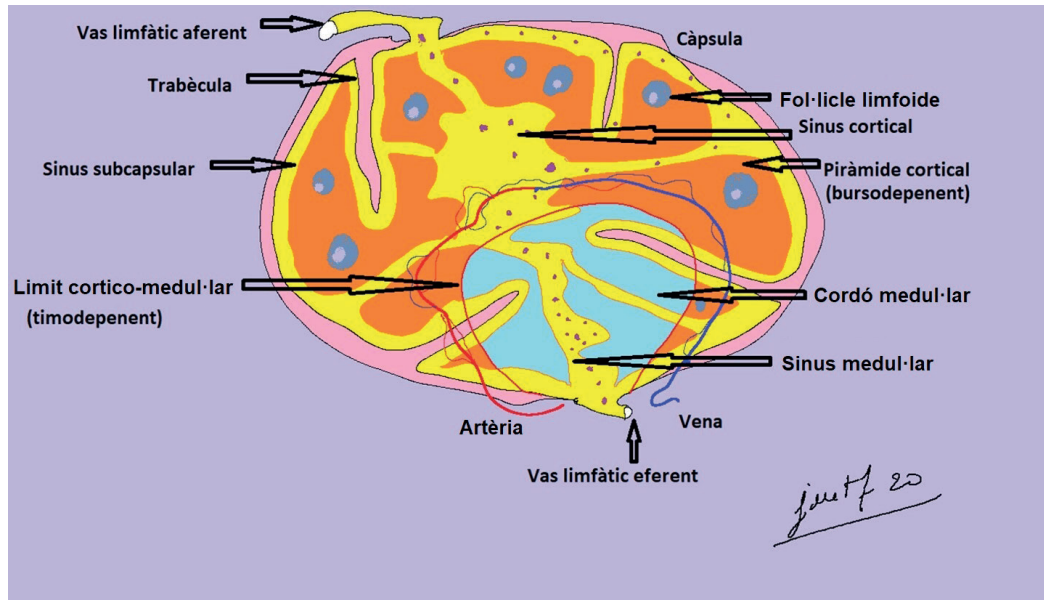
Pissarra 40. Timus



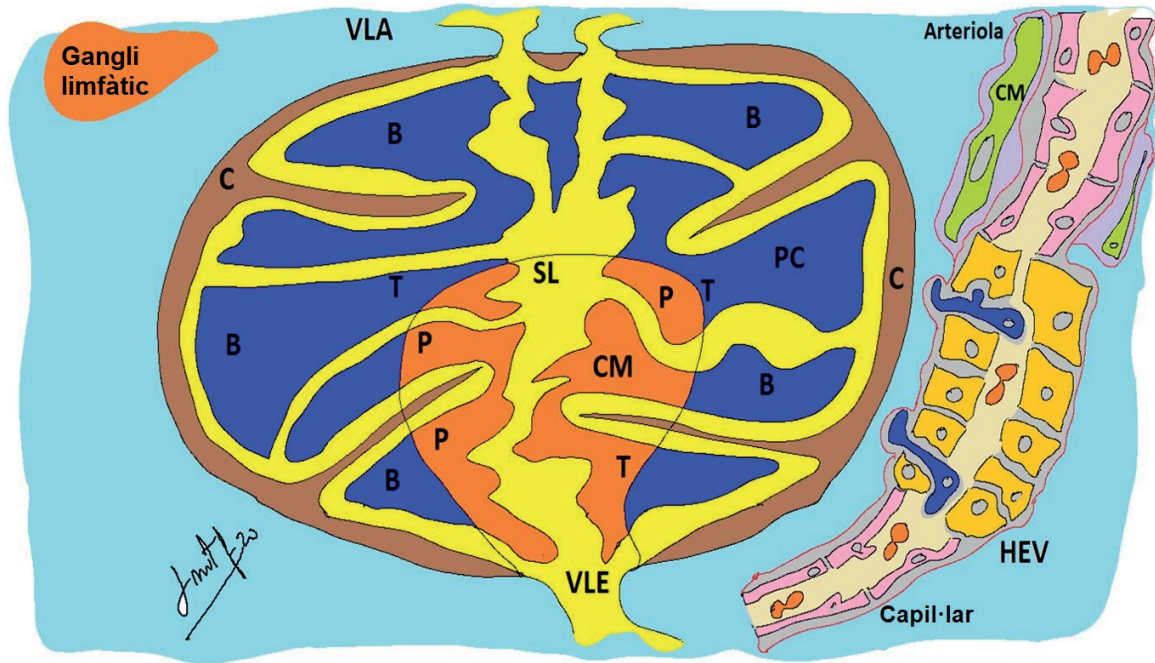
Pissarra 41. Barrera hematotímica als antígens

Ganglis limfàtics

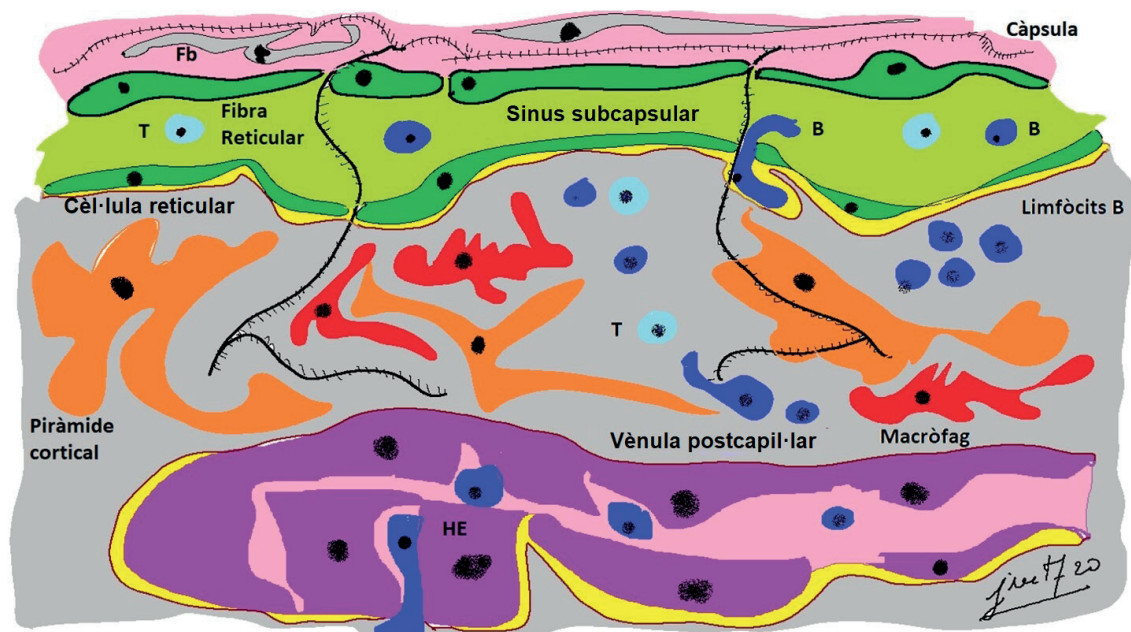
Els ganglis limfàtics (filtres en la circulació limfàtica), juntament amb la melsa (filtre en la circulació sanguínia), són els principals **òrgans limfoides secundaris** per on passen i es poden instal·lar un temps o tornar a recircular tots els limfòcits. En aquests llocs, els limfòcits poden interactuar entre ells, amb els macròfags i amb els elements estranys que arriben per mitjà de la sang i la limfa. Els ganglis s'originen en el teixit connectiu i estan formats per una matriu de cèl·lules reticulars estrellades. Entre les malles trobem els limfòcits i macròfags, la majoria dels quals provenen dels sinus limfàtics, després de travessar-ne la paret. Tot el parènquima del gangli està travessat per un gran nombre de vasos limfàtics de diàmetre molt irregular anomenats sinus limfàtics (**SL**), on desemboquen alguns vasos limfàtics aferents (**VLA**) i n'apareixen altres d'eferents (**VLE**). La regió dels ganglis on conflueixen els sinus abans d'originar els limfàtics eferents té un aspecte histològic més esponjós (per l'abundància de llums vasculars) i s'anomena **medul·la**. El teixit que l'envolta és el **còrtex**. Per fora presenta un càpsula amb trabècules. En relació amb aquestes estructures connectives, anomenem els sinus **subcapsulars, corticals i medul·lars** i el teixit entre aquests, es coneix com a **piràmides corticals** (**PC**, bursodependents, riques en limfòcits B) i **cordons medul·lars** (**CM**), on s'instal·len les cèl·lules plasmàtiques (**P**), productores d'immunoglobulines que resulten de la proliferació clonal dels limfòcits B corticals després de ser activats. Els limfòcits T se situen en el límit corticomedul·lar (zona timodependent) encara que uns i altres interaccionen per tot arreu. Els ganglis també disposen de vasos sanguinis. Les vèdules postcapil·lars (**vèdules d'endoteli** cúbic o alt, **HEV**) estan especialitzades a facilitar el pas de limfòcits sanguinis cap a les piràmides corticals i cordons, on es barregen amb els limfòcits arribats per la limfa o originats localment. **CM**; cèl·lula muscular llisa.



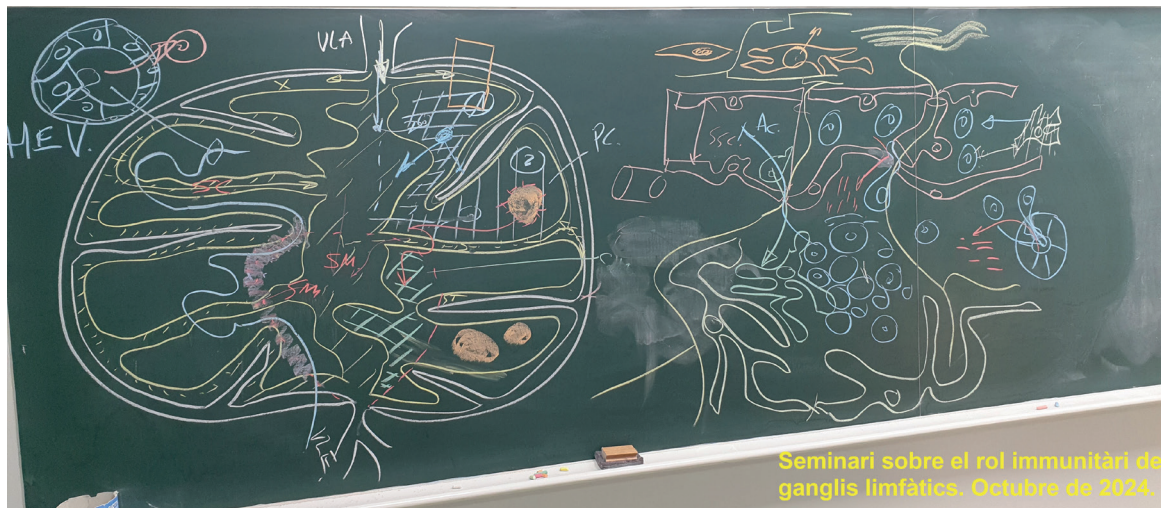
Pissarra 42. Gangli limfàtic



Pissarra 43. Gangli limfàtic i vènula postcapil·lar d'endoteli alt



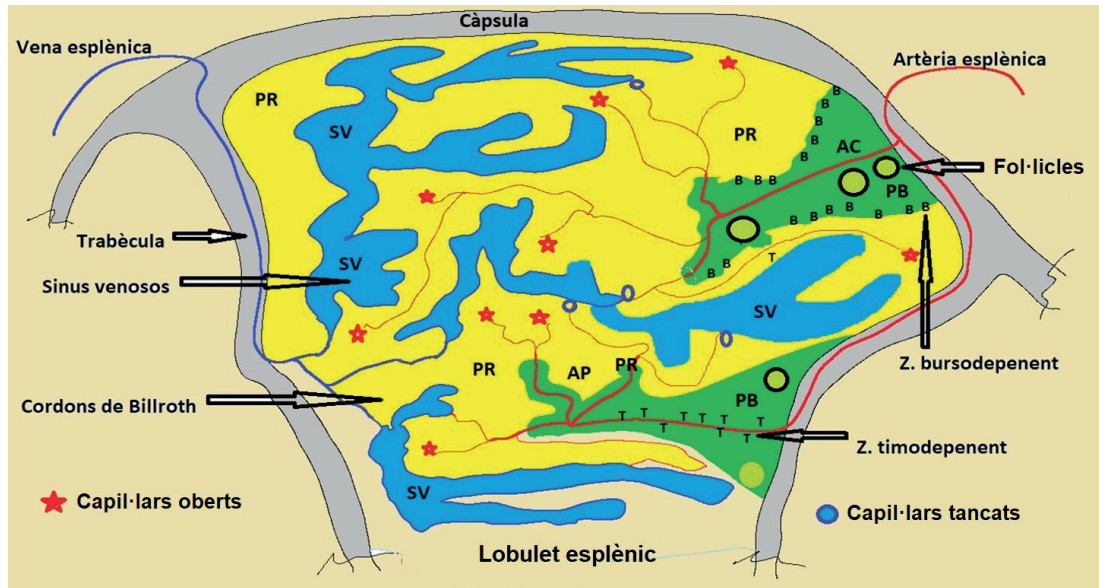
Pissarra 44a. Piràmide cortical. Regió externa



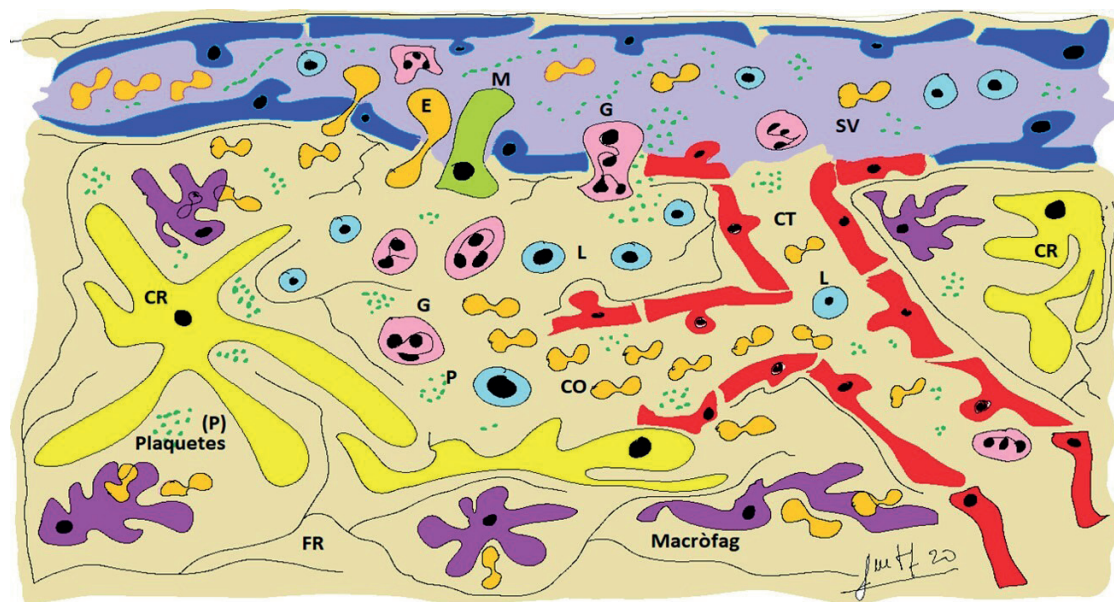
Pissarra 44b.

Melsa

La melsa és un òrgan limfoide secundari d'origen mesenquimal que actua com un filtre en la circulació sanguínia. A més, té una càpsula (amb nombroses cèl·lules musculars llisses que poden afavorir la contracció de l'òrgan —estimulada pel simpàtic i l'adrenalina— i la sortida cap a la circulació sanguínia de plaquetes i altres elements). El parènquima està constituït per una xarxa tridimensional de cèl·lules reticulars (CR). En lloc de sinus limfàtics (com en els ganglis) presenta un laberint de sinus (vasos irregulars) venosos (SV) (A). Per portar sang cap a aquests sinus, les rames capsulars i trabeculars de l'artèria esplènica creen artèries centrals (AC, perquè ocupen el centre d'un embolcall de limfòcits). El conjunt de tots els embolcalls s'anomena **polpa blanca** (PB). Els limfòcits T es troben a prop de l'artèria central i els B, a la part externa. Tot el que queda a l'exterior de les estructures de polpa blanca s'anomena **polpa roja** (PR) (per l'abundància d'eritròcits extravasats). Les artèries centrals produeixen les arterioles penicil·lars (2-4 AP, que semblen un pinzellet) envoltades encara per un parell de capes de limfòcits i aquestes formen mitja dotzena de capil·lars cadascuna envoltada de macròfags (**coberta de Schweiger-Seidel**). El teixit que queda enmig de totes aquestes estructures vasculars rep el nom de **cordons de Billroth**. La meitat dels capil·lars connecta directament amb la paret dels sinus; per tant, la circulació sanguínia és tancada (CT) (B). L'altra meitat de capil·lars s'obre directament en els cordons de Billroth (CO) i produeixen una hemorràgia fisiològica. Aquí els leucòcits actius (els monòcits poden quedar-se com a macròfags, i molts limfòcits romandre-hi durant un temps) i els eritròcits joves i deformables en poden sortir travessant la paret dels sinus i entrant a la circulació tancada. Les cèl·lules sanguínies envellides i els elements estranys que arriben per la sang es filtren, es retenen i es destrueixen, procés que permet a macròfags i limfòcits B presentar els antígens als limfòcits T.

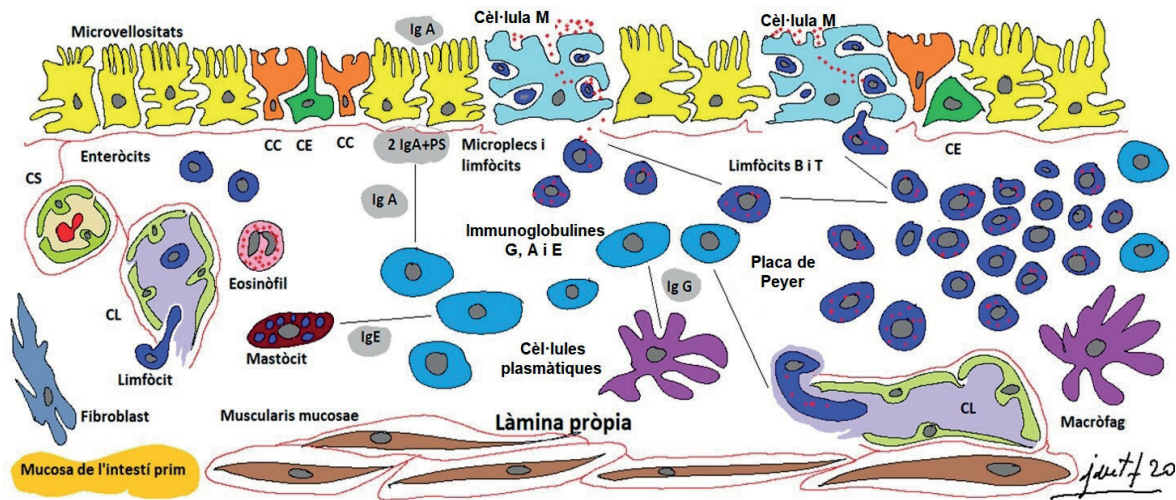


Pissarra 45. (A) Melsa

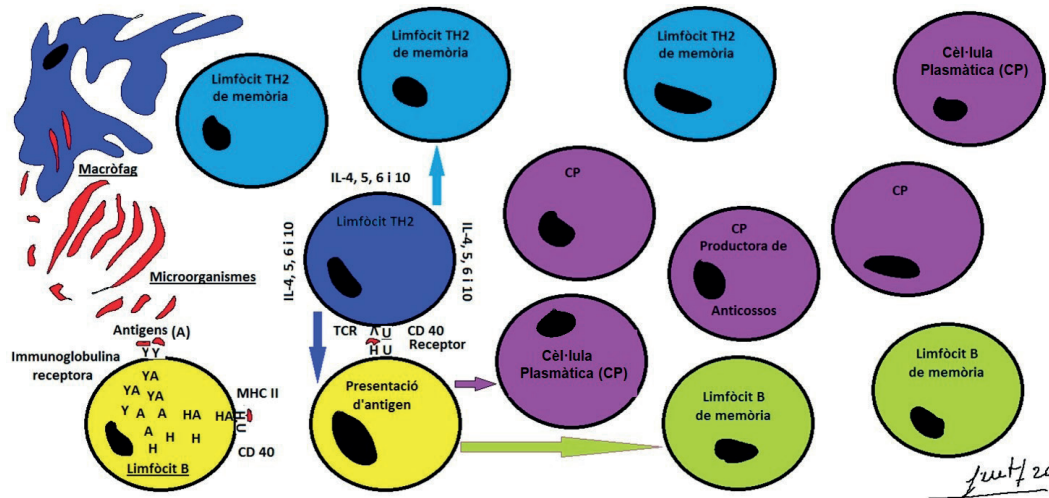


Pissarra 46. (B) Cordó de Billroth de la melsa

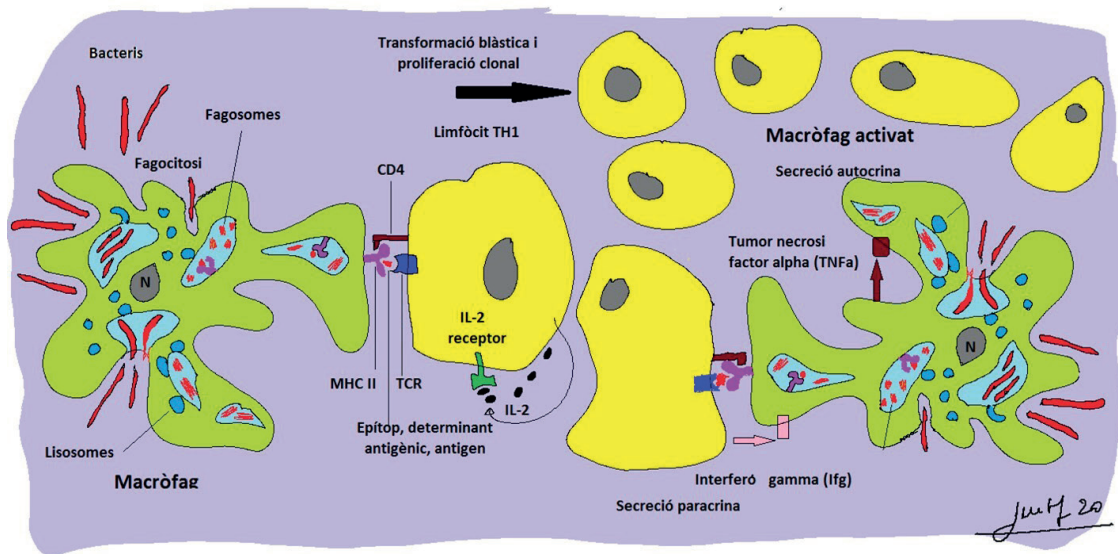
MALT, GALT, BALT. Els limfòcits B i pre-T es formen en el moll de l'os i els T adquireixen competència immunològica en el timus abans de passar (B i T) a la circulació sanguínia i recircular finalment entre la sang, la melsa (filtre en la circulació sanguínia), el teixit connectiu, els vasos i ganglis limfàtics (filtres en la circulació limfàtica), i altra vegada a la sang, generalment per aquest ordre. Determinades localitzacions del teixit connectiu retenen durant força temps un gran nombre de limfòcits. Es tracta de zones especialment exposades a microorganismes i molècules alienes ja que formen la làmina pròpia (teixit connectiu) associada a epitelis generalment simples, totalment exposats. Aquests epitelis revesteixen capes mucoses internes i, per aquest motiu, aquest teixit limfoide s'anomena *mucosa-associated lymphoid tissue* (**MALT**). En els bronquis s'anomena **BALT** (*bronchus-associated lymphoid tissue*), i en el tub digestiu **GALT** (*gut-associated lymphoid tissue*). El paper defensiu immunitari d'aquest teixit és fonamental (GALT en el dibuix). Les **cèl·lules M** (disposen de microplecs apicals i laterals) allotgen limfòcits i, juntament amb els macròfags locals i limfòcits B, capten i presenten antígens bacterians i virals als limfòcits T. Tots plegats interactuen a les **plaques de Peyer** (grans acumulacions de limfòcits en la làmina pròpia i submucosa de la paret del tub). Altres limfòcits migren als ganglis regionals (mesentèrics, en aquest cas del GALT), on poden continuar amb els processos de transformació blàstica i proliferació clonal. Finalment, immunoglobulines produïdes localment per les cèl·lules plasmàtiques originades a les plaques de Peyer o immunoglobulines provinents dels ganglis regionals, doten els macròfags de la làmina pròpia (IgG), als mastòcits (IgE) o bé són transferides a les cèl·lules epitelials (majoritàriament enteròcits) (IgA) que les transloquen a la superfície apical per actuar com a primera línia defensiva específica. (CC), cèl·lula caliciforme; (CE), cèl·lula endocrina.



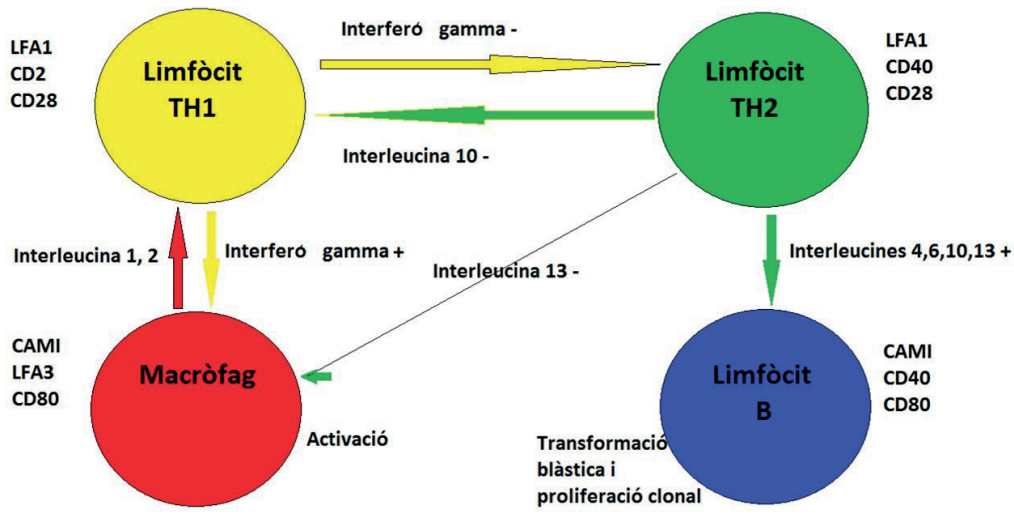
Pissarra 47. GALT



Pissarra 48. Interaccions immunitàries. Interacció Limfòcits B-TH2



Pissarra 49. Interacció Macròfag-Linfòcit TH1

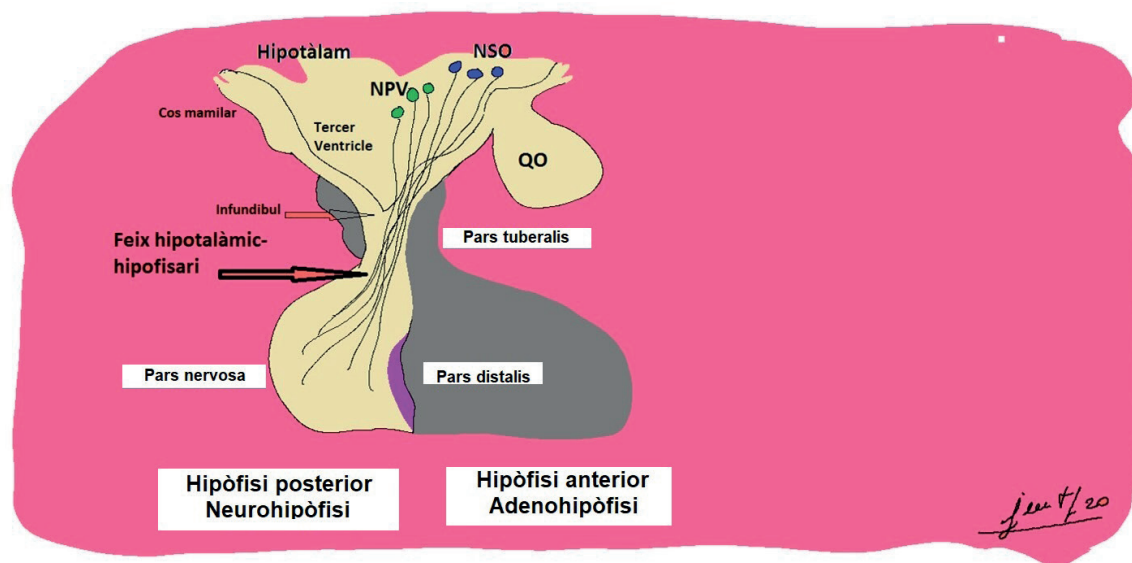


Pissarra 50. Interaccions entre cèl·lules immunitàries

4. Els òrgans endocrins: moviment de molècules de senyalització

Eix hipotalamohipofisari

El sistema endocrí està format per agrupacions de cèl·lules (glàndules o illots) i cèl·lules disperses, que utilitzen el teixit connectiu i els vasos que allotja per mobilitzar paracrina o endocrinament, moduladors (hormones) que regulen l'activitat de les poblacions cel·lulars de l'organisme. L'eix hipotalamohipofisari format per la unitat de l'hipotàlem amb la hipòfisi (glàndula pituïtària) és un regulador fonamental. En el segon mes de l'embrió, es crea una evaginació del diencèfal que forma un infundíbul i una expansió anomenada **neurohipòfisi** o hipòfisi posterior (*pars nervosa* de la hipòfisi). Des del sostre de la faringe de l'embrió, l'ectoderma origina una evaginació (bossa de Rathke) que, en unir-se a la neurohipòfisi per la regió anterior, forma l'**adenhipòfisi** o hipòfisi anterior (o *pars distalis*) i la **hipòfisi mitjana**. La part de l'adenhipòfisi que envolta parcialment la tija o infundíbul de la neurohipòfisi s'anomena la *pars tuberalis*. (QO), quiasma òptic; (NSO), nucli supraòptic; (NPV), nucli paraventricular.

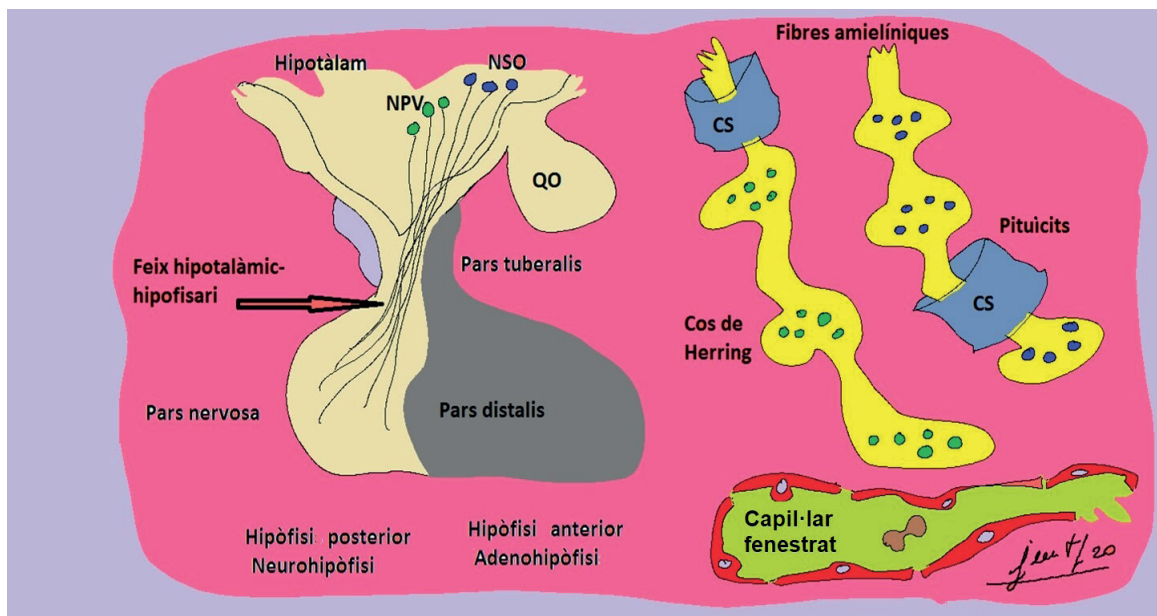


Pissarra 51. Eix hipotalamohipofisari

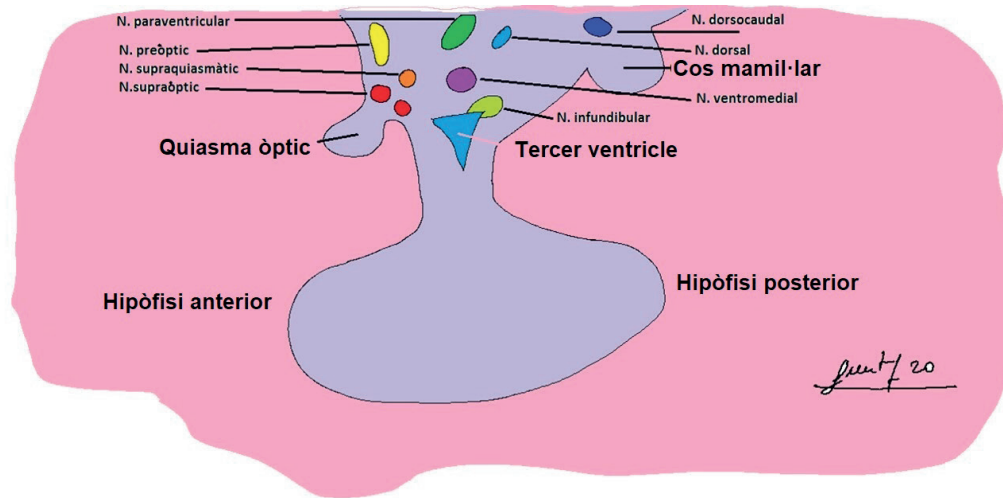
Neurohipòfisi

La **neurohipòfisi** (hipòfisi posterior) és una diferenciació del diencèfal i allotja el **feix d'axons amielínics hipotalamohipofisari** (10^5 fibres nervioses de naturalesa axonal —centrífuga— que acaben a diferents nivells del recorregut del feix per l'interior de la neurohipòfisi). Les cèl·lules de Schwann de les fibres nervioses (CS) aquí s'anomenen **pituícits**. Els somes neuronals de les cèl·lules neurosecretores estan allotjats en la regió hipotalàmica, a les parets del tercer ventricle. Dos nuclis (agrupacions de neurones dins el sistema nerviós central) representatius són el supraòptic (NSO, a sobre del quiasma òptic) i el paraventricular (NPV). Els dos produeixen **oxitocina i hormona antidiürètica (vasopressina)**. Aquestes hormones formen part de grans molècules anomenades **neurofisines** que, en ser secretades al final de les terminacions nervioses, a prop de capil·lars sanguinis fenestrats, es trenquen i alliberen les petites hormones peptídiques de 9 aminoàcids. Aquests capil·lars van a parar directament als sinus venosos de la base de l'encèfal. Durant el transport axoplàsmic de vesícules amb neurofisines, es poden produir interrupcions temporals i acumulacions transitòries que formen dilatacions axonals, són els anomenats **cossos de Herring**. En la neurohipòfisi no hi ha barrera hematoencefàlica i pot ser considerada com un tronc nerviós (com un nervi).

A l'hipotàlem hi ha altres nuclis que també contenen neurones secretores que envien els axons a la **neurohipòfisi infundibular**. Produeixen molècules reguladores de l'activitat de les cèl·lules de la hipòfisi anterior (factors estimuladors i inhibidors). Quan se secreten, aquests factors passen a l'adenohipòfisi seguint un **sistema portal** que uneix els capil·lars de la neurohipòfisi i l'adenohipòfisi.



Pissarra 52. Neurohipòfisi

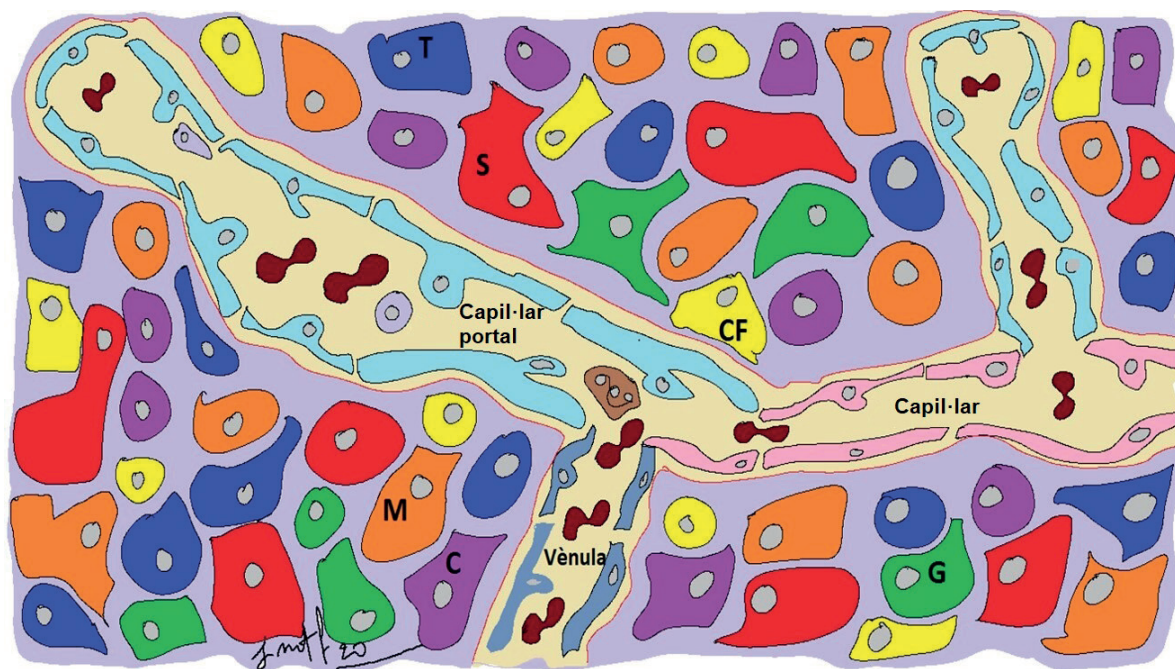


Pissarra 53. Nuclis hipotalàmics

Adenohipòfisi

L'adenohipòfisi o hipòfisi anterior està formada per cordons de cèl·lules endocrines entre capil·lars sanguinis la majoria dels quals provenen del sistema vascular portal hipofisiari. Aquests capil·lars condueixen ràpidament els factors reguladors provinents de l'hipotàlem des de la neurohipòfisi infundibular fins a la hipòfisi anterior. Les cèl·lules anterohipofisiàries poden ser **acidòfiles** (**somatòtrofes** —produeixen hormona del creixement, STH— i **mamotrofes** —prolactina—), **basòfiles** (**tiròtrofes** —produeixen hormona estimulant de la tiroïdes, TSH—, **corticòtrofes** —hormona estimulant del còrtex suprarenal, ACTH— i **gonadòtrofes** —produeixen hormones reguladores de gònades, FSH i LH—) i **cromòfobes** (diferents estadis de diferenciació dels altres tipus).

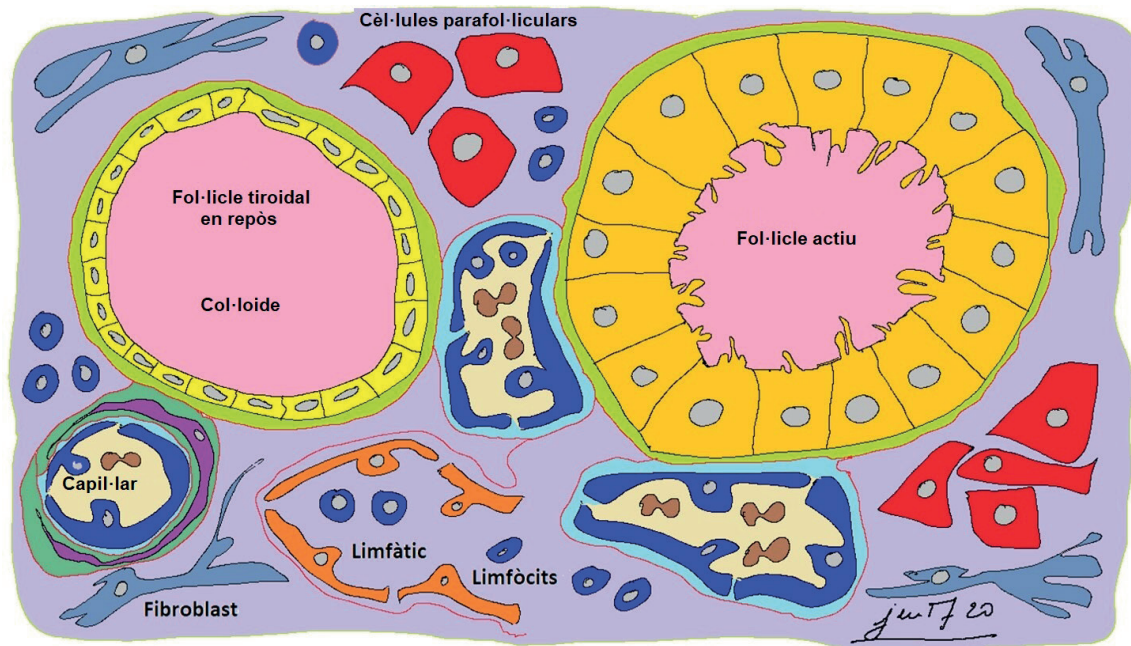
Somatòtrofes (S), mamotrofes (M), tiròtrofes (T), corticòtrofes (C), gonadòtrofes (G) i cromòfobes (CF).



Pissarra 54. Adenohipòfisi

Tiroides

La glàndula tiroidal produeix hormones tiroidals (**T3**, **T4**) que regulen diferents aspectes del metabolisme sota la modulació de l'hormona estimulant **TSH** provinent de l'adenohipòfisi. L'estructura histològica de la glàndula és fol·licular (fol·licles amb una mida entre pocs micròmetres i quasi 1 mil·límetre). Els **fol·licles** estan formats per un epitel·li pla cúbic (segons l'estat d'activació) que envolta una cavitat central plena de la proteïna **tiroglobulina**. Aquesta substància s'anomena **col·loide**, per l'aspecte homogeni i hialí que té a microscòpia, encara que pot estar fragmentada o retreta en les preparacions histològiques. La tiroglobulina, en la cavitat fol·licular, representa una forma de magatzem de grans quantitats de la proteïna. Quan es reabsorbeix i es trenca produeix les hormones T3 i T4 que, en passar als capil·lars perifol·liculars, poden actuar en totes les cèl·lules de l'organisme. Les cèl·lules fol·liculars van produint la tiroglobulina, incorporen iode (captat en el pol basal, amb alta afinitat i despesa de ATP) en els residus de tirosina més superficials de la molècula (uns 25) i l'emmagatzemen dins el fol·licle. Amb l'estimulació per la TSH, les cèl·lules fol·liculars creixen, es fan cubicocilíndriques, generen fil·lopodis que reabsorbeixen fragments de tiroglobulina dins de vesícules, la trenquen per fusió de lisosomes i s'alliberen cap al pol basal i vascular. Les molècules rellevants són: T3 (**triiodotironina** —una molècula formada per la unió d'una monoiiodotirosina i una diiodotirosina—) i T4 (**tetraiodotironina** —formada amb la unió de dos diiodotirosines—). En l'interstici connectivovascular perifol·licular trobem illots de cèl·lules anomenats **parafol·liculars** (**cèl·lules C**, originades i provinents del neuroectoderm dorsal). Aquestes cèl·lules detecten i responen a un increment de la calcèmia alliberant **calcitonina** que, quan actua sobre els osteoblasts, afavoreix el dipòsit de calci en l'os i una disminució ràpida de la calcèmia.

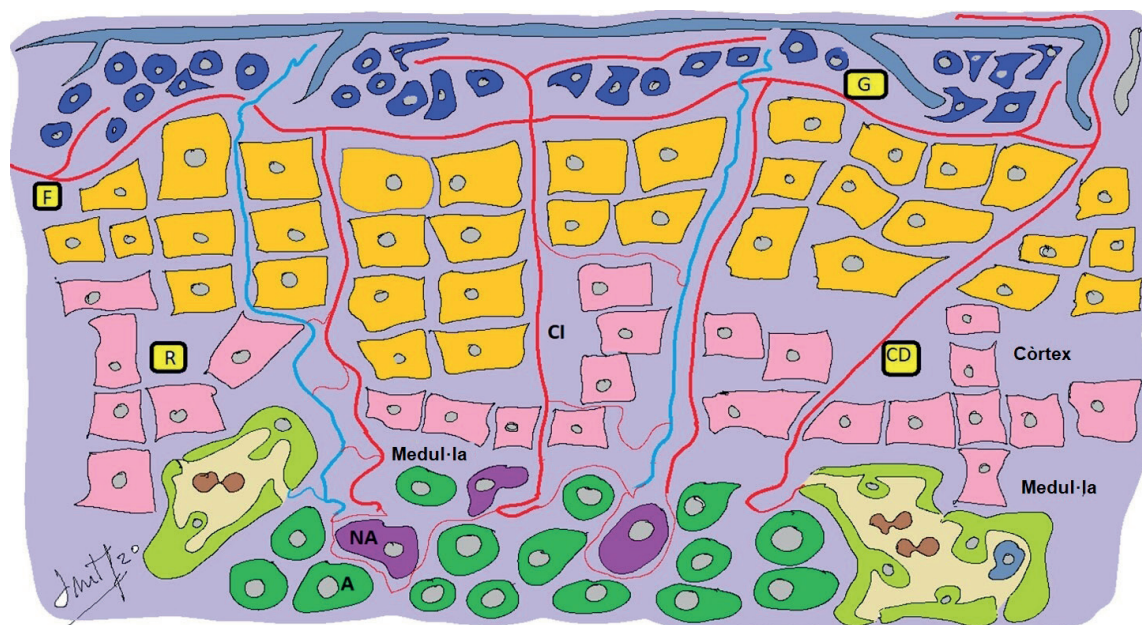


Pissarra 55. Fol·licles tiroidals

Glàndula suprarenal

Les suprarenals són glàndules endocrines complexes formades per dues parts: el **còrtex** (teixit interrenal en altres espècies) i la **medul·la** (teixit cromafi, separat de l'interrenal). L'associació de tots dos teixits augmenta la funcionalitat de les glàndules suprarenals. El còrtex està embolcallat per una càpsula connectiva i consta de tres capes concèntriques: la capa **glomerular** (G), (externa, 15% del còrtex, sovint incompleta, formada per illots de cèl·lules), que produeix la proteïna **aldosterona** (és un mineralocorticoide que promou la retenció de sodi en tubs renals i en glàndules exocrines) quan és estimulada per l'angiotensina I. La capa **fasciculada** (F) (central, 75% del còrtex, feixos o cordons radials de cèl·lules entre mig dels capil·lars), que produeix diferents corticoesteroides (**glucocorticoides**) quan és estimulada per l'ACTH anterohipofisària. Les cèl·lules presenten formes esponjoses per l'extracció dels lípids precursors de les hormones amb la preparació histològica. La capa **reticular** (R) té pràcticament les mateixes característiques, però les cèl·lules formen una xarxa i produeixen **estrògens i andrògens**.

La medul·la central està vascularitzada pels capil·lars provinents del còrtex (CI) que incorporen les hormones corticals, i per vasos directes des de la càpsula (CD). La medul·la es pot considerar un gangli simpàtic amb cèl·lules que provenen de la cresta neural, sense dendrites, secretores d'adrenalina (A, aquesta en funció de la regulació pels corticoides que provenen del còrtex) i noradrenalina (NA) hormonals. Com la majoria de ganglis autònoms, les cèl·lules de la medul·la estan innervades difusament per terminacions nervioses colinèrgiques. L'adrenalina i noradrenalina s'alliberen intensament en les reaccions d'alarma o estrès.

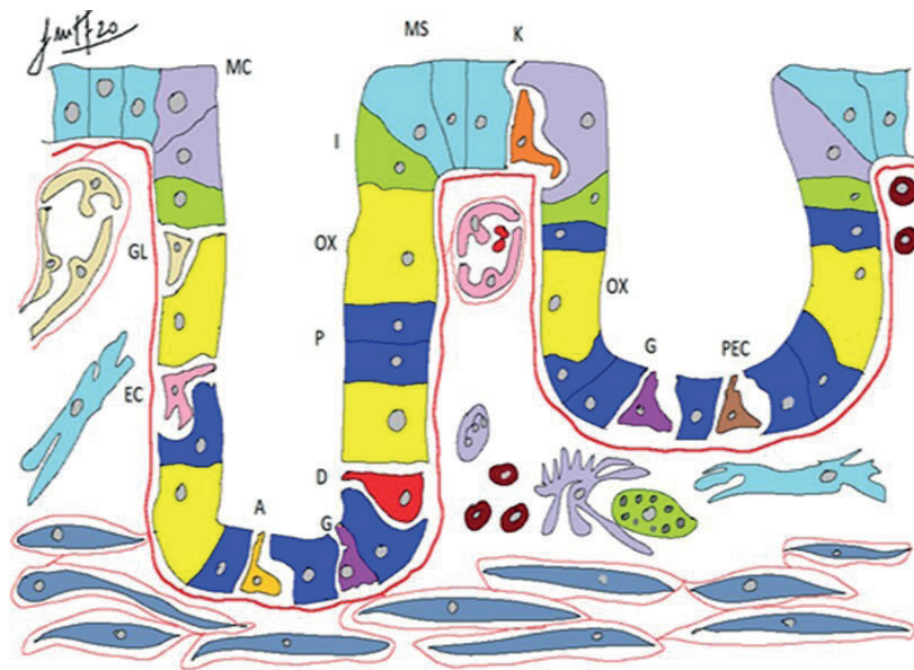


Pissarra 56. Glàndula suprarenal

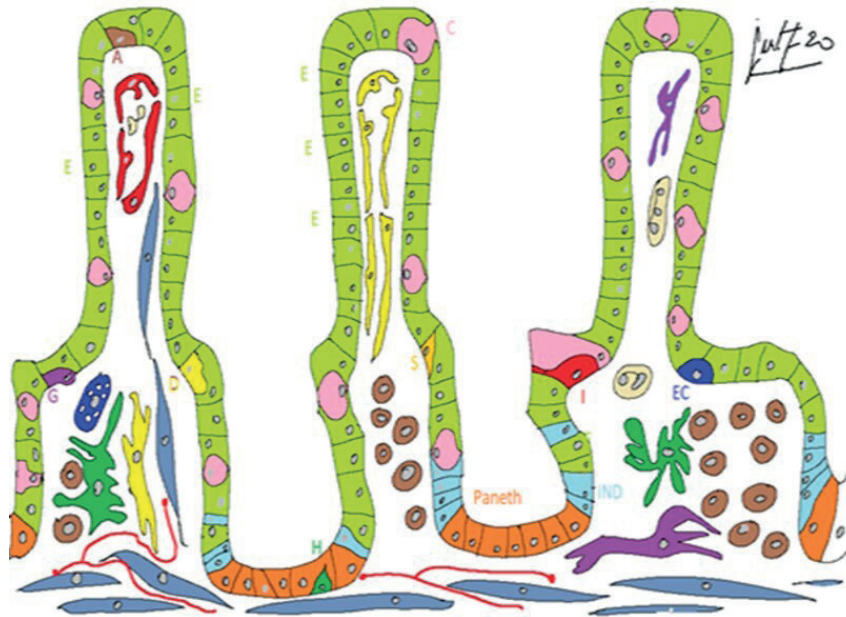
Illots i cèl·lules endocrines disperses

Una part vital del sistema endocrí està formada per cèl·lules endocrines disperses per tot arreu, sobretot incloses en els epitelis (en els dibuixos nombroses cèl·lules en el tub digestiu; **A, D, G, K, PEC, S, I**, i també en l'interstici interfol·licular de la glàndula tiroide). La secreció d'aquestes cèl·lules pot ser paracrina o endocrina. Bona part d'aquestes cèl·lules deriven i migren durant el desenvolupament embrionari del neuroectoderma dorsal i de les crestes neurals. Altres cèl·lules també deriven del neuroectoderma, com els melanòcits, les cèl·lules dels ganglis del sistema nerviós autònom, les de la medul·la suprarenal, etc.

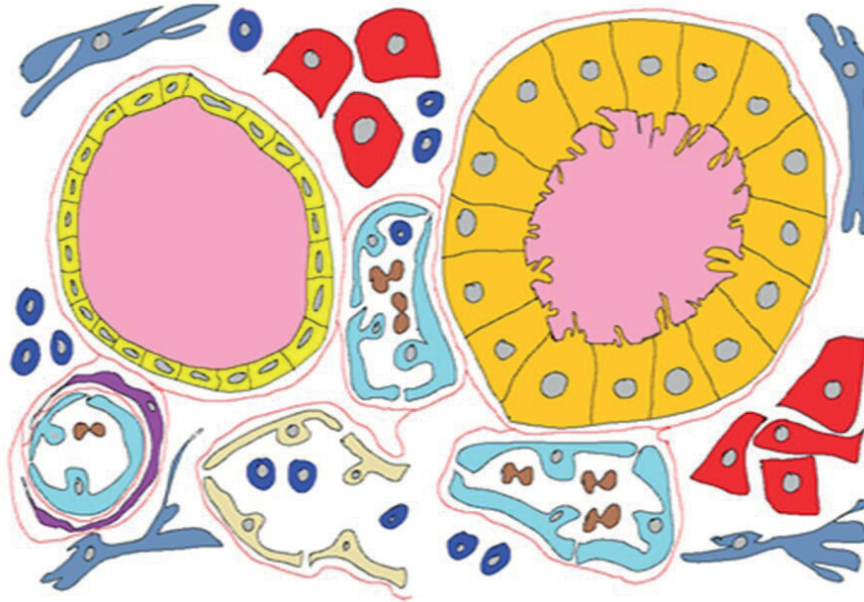
Moltes d'aquestes cèl·lules, a més d'un mediador peptídic també produeixen amines (histamina, serotonina, etc.) per descarboxilació d'aminoàcids. Es diu que formen part de l'anomenat **sistema APUD** (*amine precursor uptake and decarboxylation*). La proliferació tumoral d'alguna d'aquestes cèl·lules s'anomena **apudoma**. Una altra manera d'agrupar-se que tenen aquestes cèl·lules és formant **illots**, com els de **Langerhans** del pàncrees, que contenen cèl·lules endocrines **A, B i D**.



Pissarra 57. Sistema endocrí dispers. Algunes cèl·lules endocrines en l'epiteli gàstric



Pissarra 58. Sistema endocrí dispers. Algunes cèl·lules endocrines en l'epiteli intestinal



Pissarra 59. Sistema endocrí dispers. Algunes cèl·lules endocrines en l'interstici de la tiroide

Ovaris i matriu

L'aparell reproductor femení està format per les **gònades femenines (ovarís)**, les **trompes de Fal·lopi** i la **matriu**.

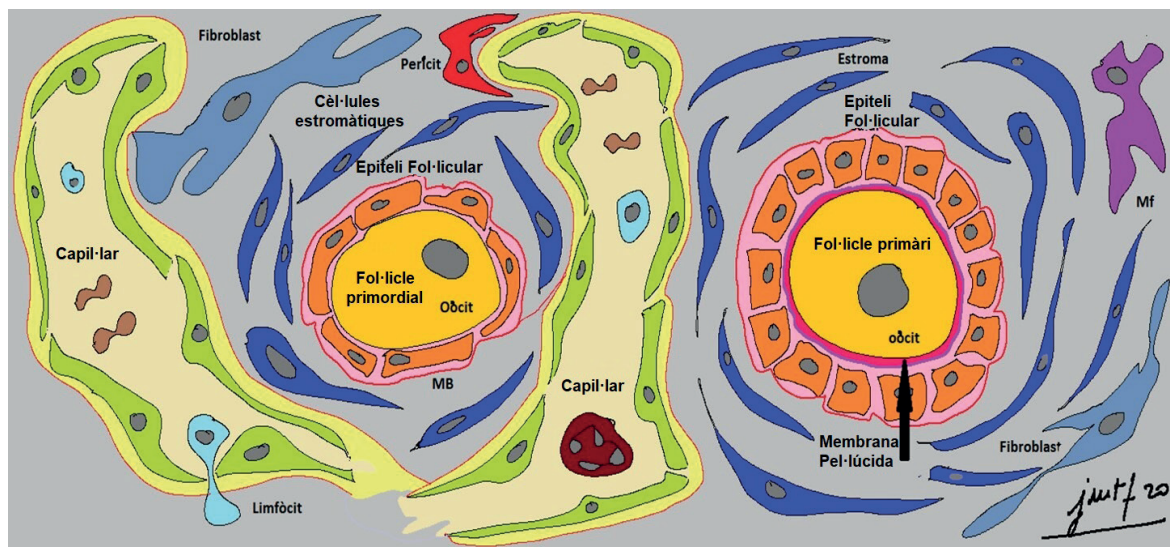
Ovari

L'ovari és una glàndula citògena i endocrina. Produeix les cèl·lules sexuals (**gàmetes**, ovòcits) i també **estrògens i progesterona** sota la influència de les hormones anterohipofisàries **FSH i LH**. Com un gran nombre d'òrgans, els ovaris tenen una càpsula (**albugínia** coberta de peritoneu que s'anomena epitelí germinatiu), un **còrtex** connectiu (estroma) i una **medul·la** vascular. En el desenvolupament embrionari les oogònies (400.000) migren al còrtex ovàric des del mesènquima del sac vitel·lí. Aquí formen **fol·licles primordials** (A) i, ben aviat, **primaris** (B). Els primordials consten d'un ovòcit embolcallat d'una capa de cèl·lules epitelials originades localment en el mesènquima (**epitelí fol·licular o granulosa** —per abundants mitocondris—) i separades de l'estroma per una membrana basal. Alguns fol·licles evolucionen una mica més i formen una membrana de glicoproteïnes, entre l'epitelí i l'ovòcit, amb fil·lopodis de les dues cèl·lules que la travessen i entren en contacte (**membrana vítria o pel·lúcida**). En alguns fol·licles l'epitelí augmenta el nombre de capes (**fol·licles primaris multilamel·lars**).

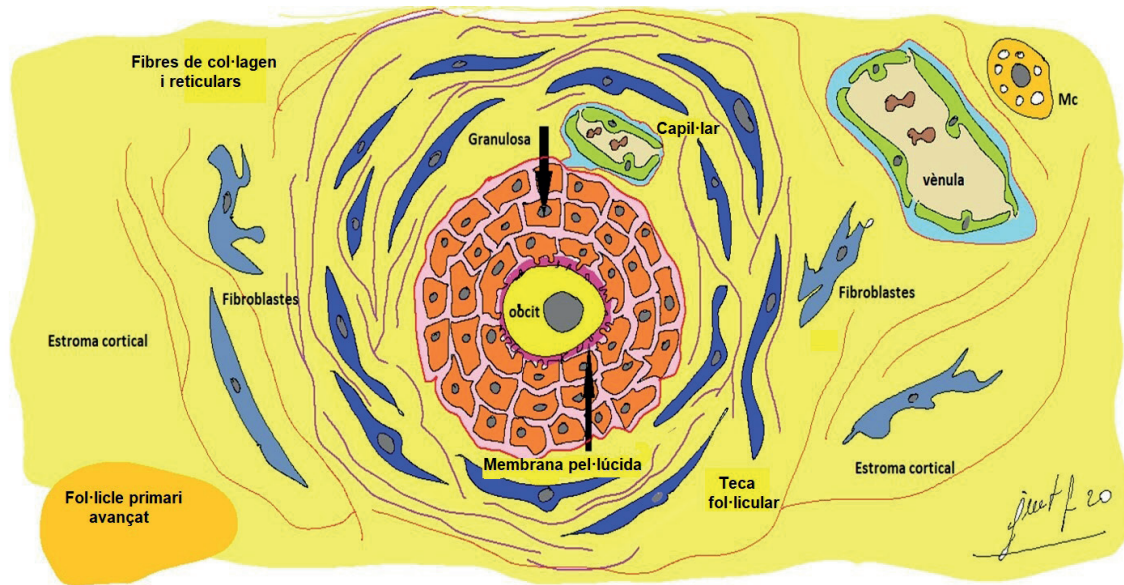
En la pubertat comencen els cicles ovàrics mensuals i en resposta a l'hormona FSH, alguns fol·licles creixen més per proliferació de l'epitelí de la granulosa i formació d'una capa connectiva

externa en l'èstroma (**teca fol·licular**). El creixement que continua i dona lloc a **fol·licles secundaris** (C, antrals), quan es formen dehiscències amb líquid dins l'epiteli, mentre que la teca es divideix en interna (TI) vascular i amb cèl·lules estromàtiques transformades en endocrines productores d'estrògens, juntament amb les granuloses i una teca externa (TE) connectiva. Alguns d'aquests fol·licles es poden atrofiar (**atrèsia fol·licular**). Normalment, un de sol, cap al dia 15 després de l'inici del creixement, esdevé madur (D, **fol·licle de Graaf**), es trenca el fol·licle (augment de la pressió del líquid antral per edema i retenció per part dels glicosaminoglicans produïts en la granulosa) i l'albugínia adjacent (sota la influència de la LH anterohipofisària). També esclata el **cumulus oophorus** (part de la granulosa que conté l'ou) i s'allibera l'ovòcit i algunes cèl·lules fol·liculars (**corona radiada**). El conjunt passa a l'ampolla de la trompa corresponent (**ovulació**) i descendeix cap a la matriu, essent viable unes 24 hores.

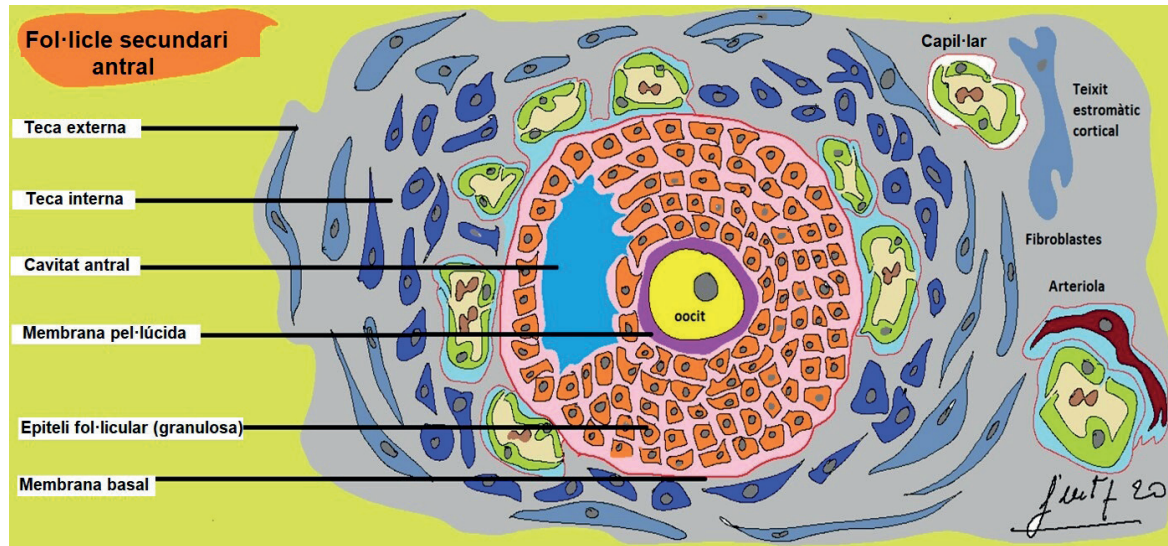
Després del trencament d'un fol·licle de Graaf i de l'ovulació, es forma i ocupa el lloc en el còrtex ovàric el **cos luti** (E) sota la influència de l'hormona LH (cos groc). Aquí, trobem les cèl·lules **granulosoluteíniques** i les **tecaluteíniques** més petites. Les cèl·lules produeixen **progesterona** i estrògens que, juntament amb els estrògens produïts abans en els fol·licles en creixement, modulen el creixement i la diferenciació de la mucosa uterina (**endometri**). En qualsevol cas els estrògens i la progesterona ovàrics modulen també, per retroalimentació negativa, la producció hipotalamo-hipofisiària de FSH i LH. (**MB**), membrana basal; (**Mf**), macròfag.



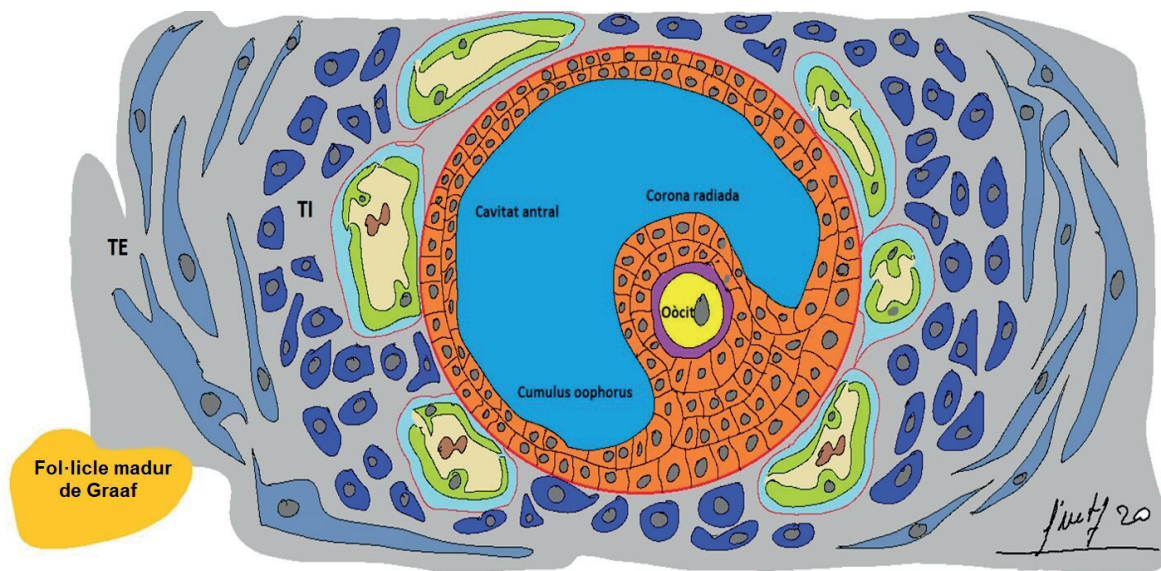
Pissarra 60. (A) Còrtex ovàric infantil



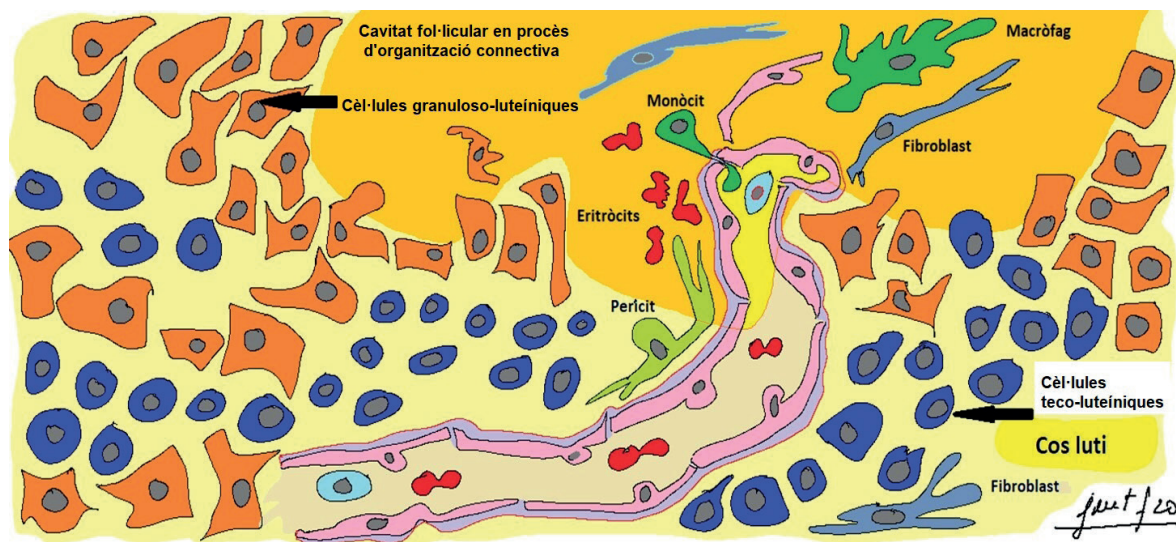
Pissarra 61 .(B) Fol·licle primari



Pissarra 62. (C) Fol·licle secundari



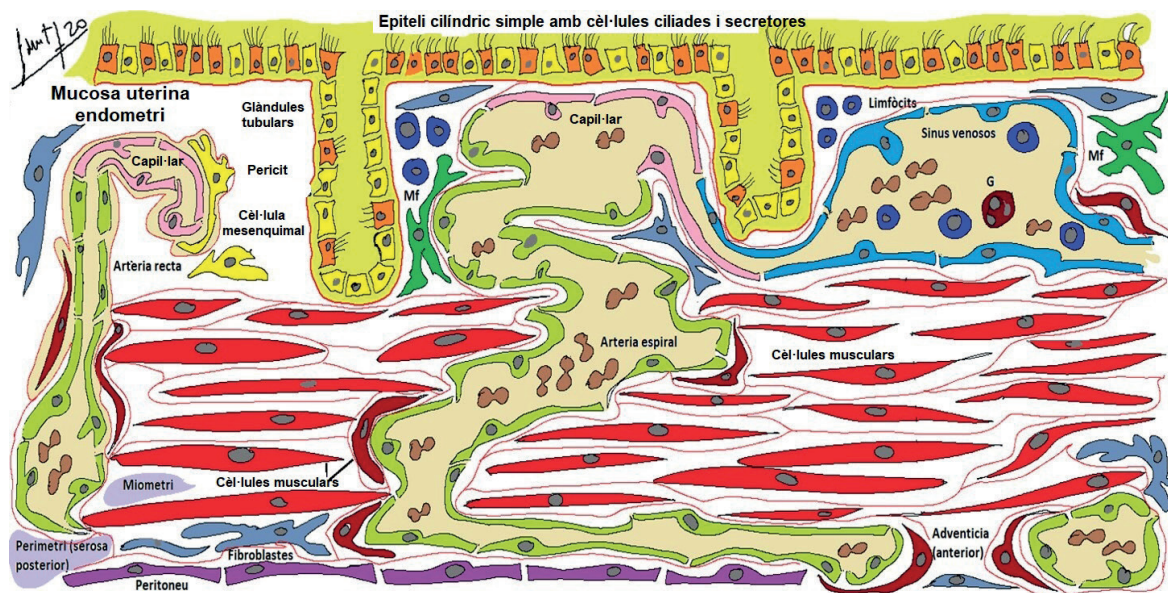
Pissarra 63. (D) Fol·lice madur



Pissarra 64. (E) Cos luti o groc

Matriu (úter)

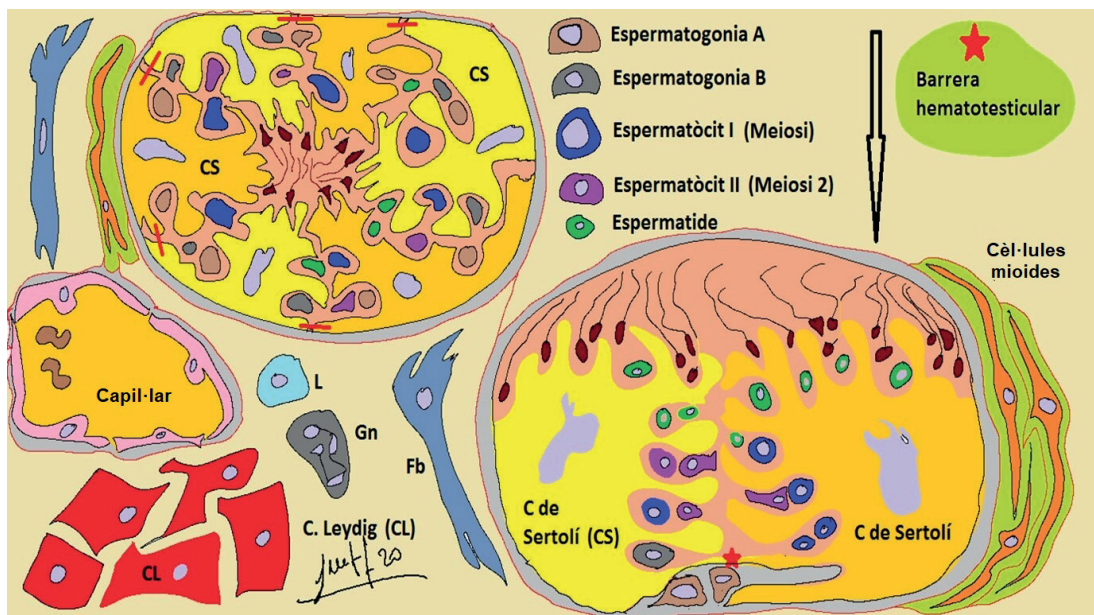
La matriu és un òrgan piriforme, cavitari, format per tres capes concèntriques: una mucosa interna (**endometri**), una gruixuda capa mitjana muscular (**miometri**), i una d'externa **adventícia** (**perimetri**) coberta de peritoneu en la superfície posterosuperior (serosa). L'endometri és gruixut, format per un epitel·li cilíndric simple amb cèl·lules ciliades i secretores. La proporció relativa entre cèl·lules varia en els diferents moments del cicle ovaricoendometrial sota la influència dels estrògens (primers 15 dies del cicle) i de la progesterona (segona quinzena del cicle menstrual). La làmina pròpia és molt cel·lular, laxa i conté sinus venosos abundants. L'epitel·li origina abundants glanduletes especialment cobertes per cèl·lules secretores més que no pas ciliades. Aquestes glàndules també creixen, s'estiren (els primers 15 dies del cicle, durant la fase proliferativa sota la influència dels estrògens del fol·licle en creixement), s'han de doblegar quan s'allarguen (**glàndules serrades**, que topen amb el miometri) i secreten abundants glicoproteïnes (durant la fase secretora, segona part del cicle modulada per la progesterona del cos luti). A la vegada les **artèries basals (rectes)**, en el límit extern del miometri, també creixen. S'estiren cap a la superfície de l'endometri i s'espiralitzen (**artèries espirals**, que irriguen amb abundància els sinus venosos superficials. Si al final de la fase proliferativa i el començament de la secretora l'òvul no ha estat fecundat i, per tant, no s'implanta en l'endometri, les artèries espirals no es poden mantenir (comença a faltar la progesterona luteínica), es contrauen per períodes cada vegada més llargs (hores) i es produeix la necrosi anòxica (infart) de l'endometri més superficial (2/3 del total) que esclata i es desprèn (menstruació). L'endometri es comença a regenerar i proliferar immediatament a partir de les cèl·lules epitelials del fons de les glàndules i dels elements de les artèries rectes basals.



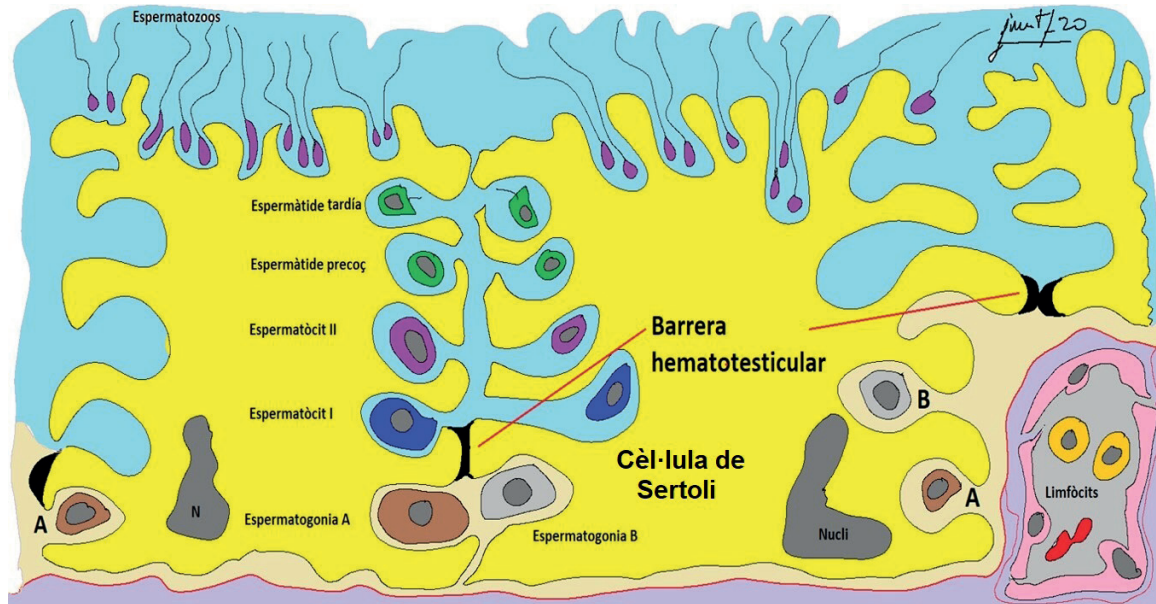
Pissarra 65. Matriu

Testicles

Les gònades masculines són glàndules citògenes i endocrines. Produeixen les cèl·lules sexuals (gàmetes, **espermatozous**) i andrògenes (**testosterona**) sota la influència de les hormones anterohipofisàries FSH i LH. Els testicles estan recoberts per una gruixuda i dura càpsula connectiva (**albugínia testicular**, col·làgena blanca) que envia envans incomplets cap a l'interior que separen els **lobulets testiculars**. A l'interior els lobulets hi ha els **tubs seminífers** (1-4 a cada lobulett, diversos centímetres de llargada i uns 200 micròmetres de diàmetre) (A). El teixit connectiu peritubular conté un gran nombre de vasos i illots de cèl·lules poligonals (CL, **cèl·lules de Leydig**) productores de testosterona sota l'estímul de la LH hipofisiària. L'epiteli dels tubs és simple, cilíndric, format per les **cèl·lules de Sertoli** que presenten múltiples plects laterals on s'allotgen les cèl·lules espermatogèniques en proliferació i diferenciació. Aquestes cèl·lules fan funcions diverses de suport, protecció, nutrició, regulació, etc. sobre les espermatogèniques. Produeixen la **proteïna ABP** (*androgen binding protein*) que concentra testosterona de les cèl·lules de Leydig localment per promoure l'**espermatogènesi**). Fins a la pubertat només hi ha **espermatogonis A**. Després, sota la influència de la FSH i de la testosterona, comença la producció d'**espermatogonis B**, **espermatòcits I** (primera meiosi), **espermatòcits II** (segona meiosi), **espermàtides** (fi de les divisions cel·lulars) i **espermatozous** (diferenciació final). Entre les cèl·lules de Sertoli es formen zònules oclusives (**B**, **barrera hematotesticular**) que separen un compartiment basal (amb espermatogònies) de la resta de cèl·lules en proliferació que, en formar-se a partir de la pubertat, serien considerades estranyes i rebutjades pel sistema immunitari.



Pissarra 66. (A) Tubs seminífers

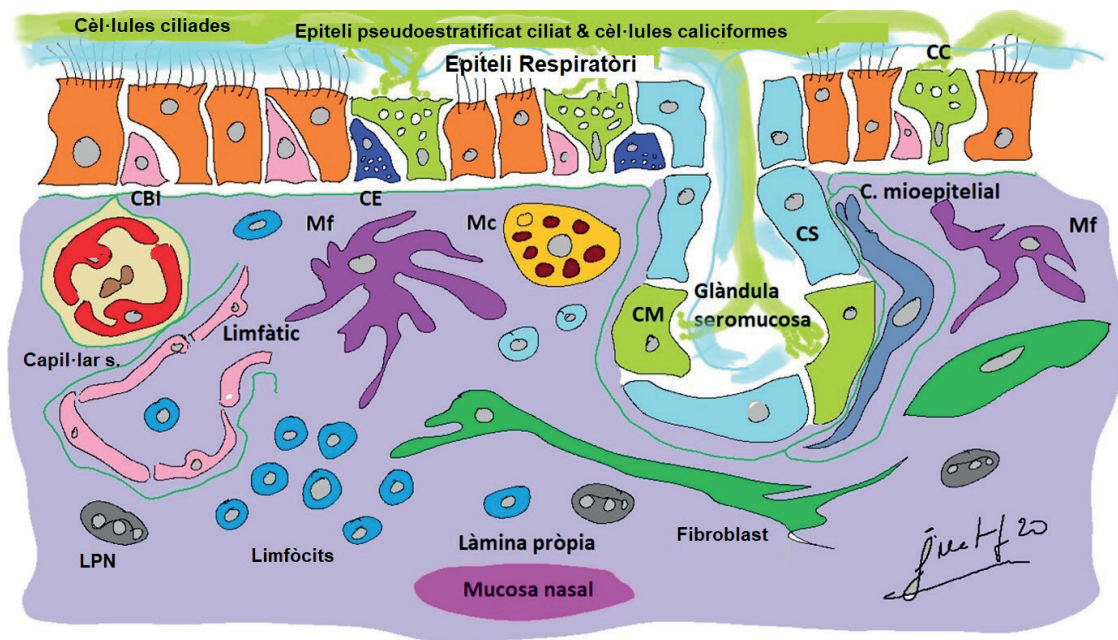


Pissarra 67. (B) Barrera hematotesticular

5. Els òrgans respiratoris i moviment de gasos

Mucosa nasal

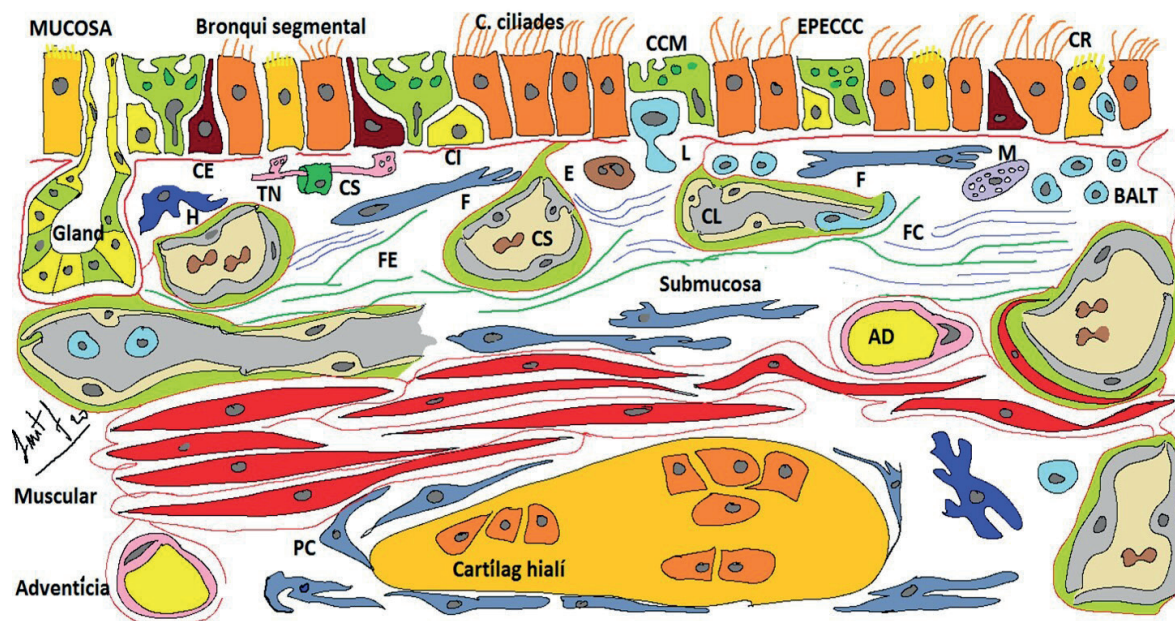
La cavitat nasal està revestida per una mucosa que es recolza directament sobre ossos i cartílags. L'epiteli és **pseudoestratificat ciliat amb cèl·lules caliciformes**, poc freqüent en altres llocs; se'l coneix com a epiteli respiratori. Les cèl·lules ciliades (els cilis bateguen a 14 Hz en direcció a l'orofaringe), les cèl·lules en raspall (CR) (tenen microvellositats), les cèl·lules basals indiferenciades (CBI), les caliciformes (CC) i les endocrines (CE) mostren els nuclis a diferent nivell dins l'epiteli i li confereixen un aspecte estratificat a microscòpia òptica. En l'epiteli també es formen **glàndules seromucoses** (amb cèl·lules mioepitel·lials) que tenen com a missió humidificar i protegir la superfície (CM, cèl·lules mucoses i CS, cèl·lules seroses). La làmina pròpia és gruixuda, amb nombrosos vasos sanguinis i limfàtics per escalfar l'aire inspirat i amb un gran nombre de cèl·lules defensives (leucòcits de tota mena), mastòcits (Mc), macròfags (Mf), limfòcits amb proliferació, on hi tenen lloc tots els mecanismes immunitaris, com ara el reconeixement d'antígens, presentació, inducció de transformacions blàstiques i la proliferació clonal i producció de cèl·lules plasmàtiques i anticossos (immunoglobulines **M, A, E, G**).



Pissarra 68. Mucosa nasal

Bronquis

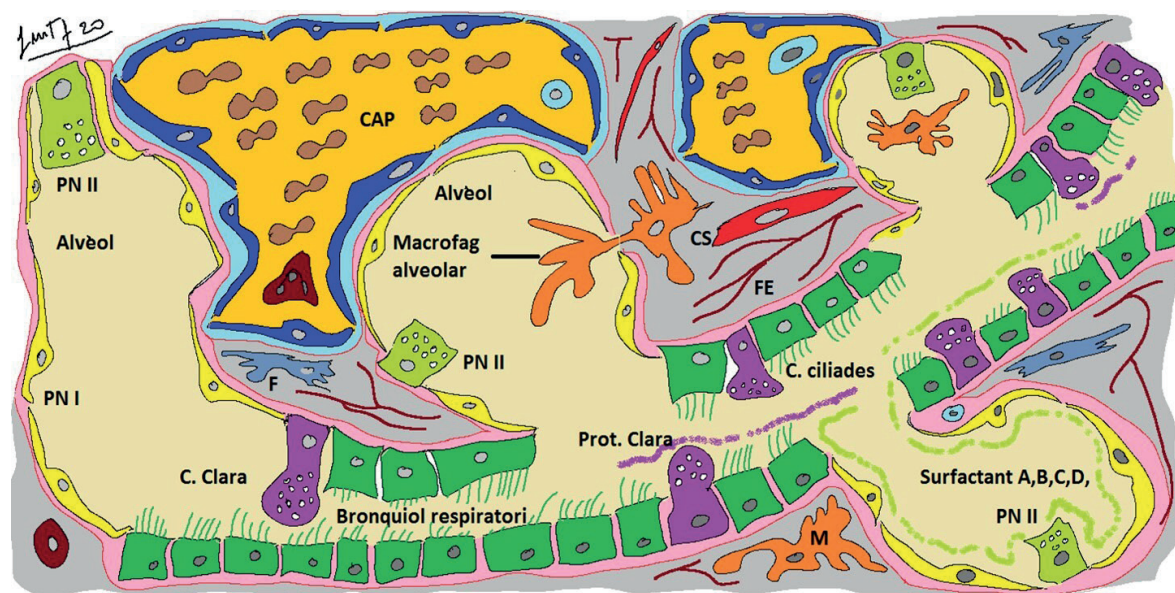
Originats en la tràquea, els bronquis de diferent ordre de ramificació (primaris, secundaris, etc.) fins a arribar als segmentals (transporten aire als **segments brocopulmonars**) i subsegmentals, contenen una mucosa similar a la de la cavitat nasal i les vies altes, amb **epiteli pseudoestratificat respiratori** i abundants **glàndules seromucoses**. També presenten una **capa mitjana muscular amb cartílag** (plaques irregulars, a diferència dels anells traqueals) i una adventícia. El nombre de cèl·lules mucoses i glàndules va disminuint progressivament en avançar la via aèria, com el cartílag, que desapareix en els bronquis subsegmentals, un lloc que ocupa el teixit muscular lligat. En la làmina pròpia es veuen abundants limfòcits en forma de cúmuls que reben el nom de **BALT** (*bronchial associated lymphoid tissue*). CCM, cèl·lula caliciforme mucosa; EPECCC, epitelí pseudoestratificat ciliat amb cèl·lules caliciformes; FC, fibres col·làgenes; FE, fibres elàstiques; H, histiòcit; TN, terminació nerviosa CS, cèl·lula de Schwann; AD, adipòcit.



Pissarra 69. Bronqui segmental

Bronquíols

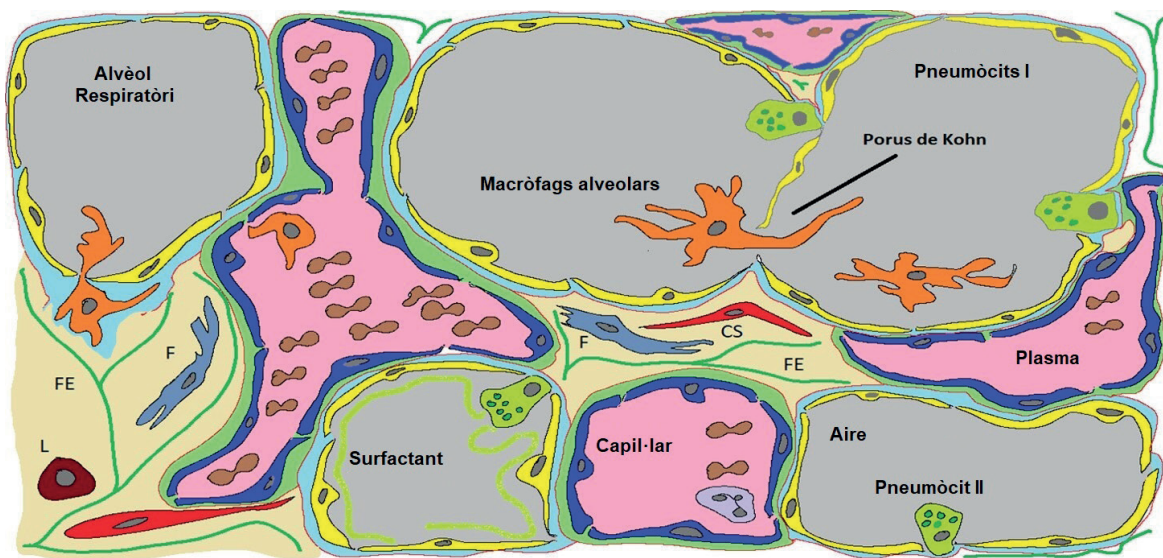
Les darreres ramificacions dels bronquis donen lloc als bronquíols (entre 0,5 i 0,3 mm) **terminals** i **respiratoris**. En els terminals, l'epiteli és cúbic ciliat (els cilis bateguen cap a la faringe), ja no contenen cèl·lules caliciformes ni glàndules seromucoses (el moc desapareix), ni cartílag i les cèl·lules musculars llises disminueixen considerablement. L'epiteli incorpora noves cèl·lules (**cèl·lules de Clarà**) que poden representar el 50% de tot el teixit i que produeixen una proteïna antiadherent. En els bronquíols respiratoris ja es troben **alvèols** a la paret en un nombre que creix progressivament fins a arribar als **conductes alveolars** i als **sacs alveolars**. FE, fibres elàstiques; CS, cèl·lules septals.



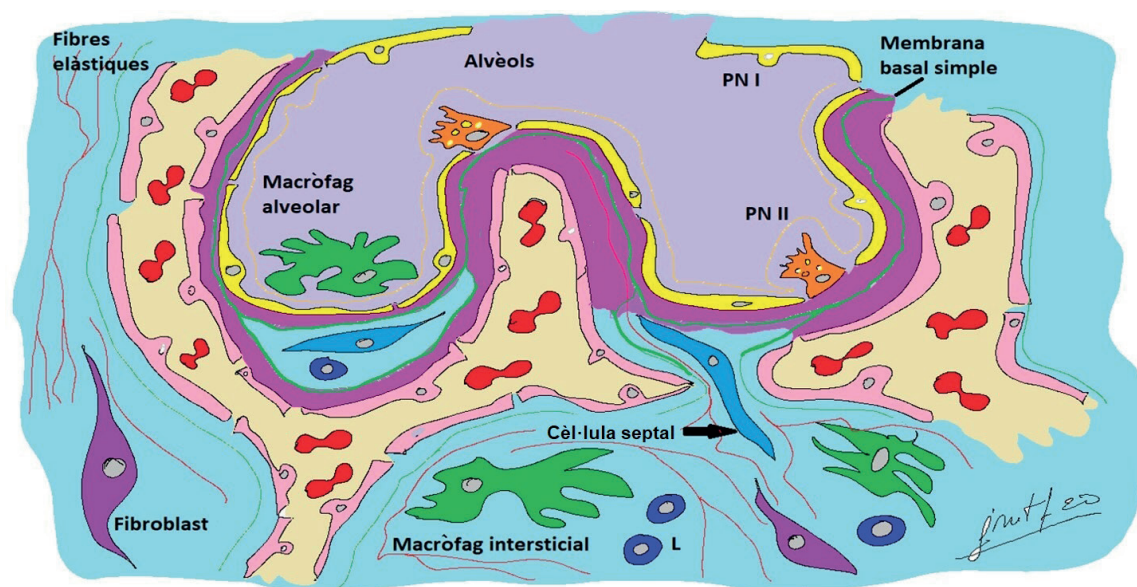
Pissarra 70. Bronquíol respiratori

Alvèols

Els alvèols estan revestits per un epitel·li pla format per **pneumòcits I** (ben aplanats i a través dels quals es produeix l'intercanvi de gasos) i els **pneumòcits II**, que produeixen el surfactant (amb les formes A, B, C, i D) que regula la tensió superficial entre aire i líquid i manté la forma oberta dels alvèols, i també contribueix a la defensa de la paret. En ascendir per la via aèria, el surfactant, que es produeix progressivament, es desplaça juntament amb la proteïna de Clara cap a la part mucociliada dels bronquíols i bronquis. Els pneumòcits II també substitueixen la població de cèl·lules alveolars. Sobre la paret alveolar externa i entre els alvèols s'observen els capil·lars sanguinis, que contenen un endoteli molt aplanat per facilitar intercanvis. Els gasos han de travessar quatre plasmalemmes (dos d'endoteli i dos de pneumòcit). També han de superar la membrana basal entre les dues cèl·lules, que en molts llocs és única i compartida. En els envans i septes connectius entre alvèols s'observa algun fibroblast, fibres elàstiques (FE), glicosaminoglicans i alguna cèl·lula contràctil (miofibroblast, **cèl·lula septal**, CS). Entre alvèols veïns podem localitzar fenestracions (**porus de Köhn**, entre 1-6 en nombre i 10-60 micròmetres) que faciliten la circulació aèria col·lateral. A l'interior d'una gran quantitat d'alvèols es troben macròfags (**macròfags alveolars**) que faciliten l'eliminació de restes i microorganismes. L'activitat secretora d'enzims, que desenvolupen com a proteases, està regulada per les plaquetes dins els capil·lars que produeixen antitripsina.



Pissarra 71. Alvèols

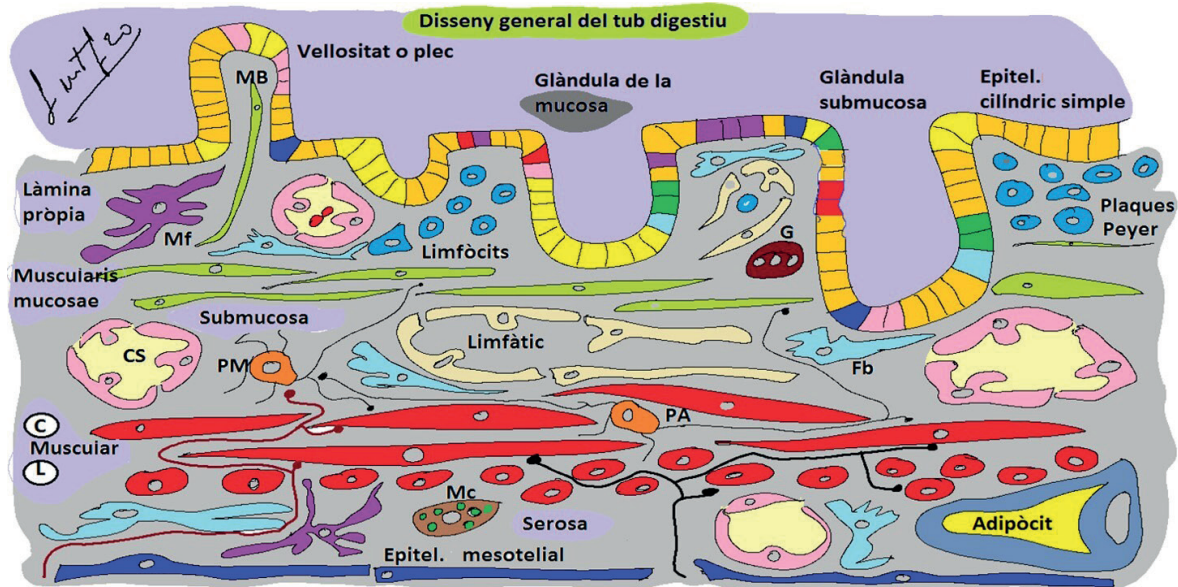


Pissarra 72. Alvèols

6. Els òrgans digestius i absortius de nutrients

Tub digestiu: organització

El pla general de disseny estructural el componen quatre capes concèntriques (mucosa, submucosa, muscular i serosa) que presenten diferències locals al llarg del tub. La **mucosa** està constituïda per un epiteli cilíndric simple amb tipus de cèl·lules diversos, una làmina pròpia laxa, vascular i molt cel·lular (amb les **plaques de Peyer**) i una fina capa muscular pròpia de la mucosa (**muscularis mucosae** i **múscul de Brücke**, MB). Segons la part del tub, l'estructura pot formar plects macroscòpics (**vàlvules connivents**) o **vellositats** que condueixen cap a la llum (intestí prim). A més, l'epiteli pot formar glàndules restringides a la mucosa o bé arribar a la submucosa. La capa **submucosa** és connectiva, més densa que la làmina pròpia, i allotja arterioles, vènules i limfàtics que envien capil·lars a la mucosa. També disposa d'una xarxa neuronal plexiforme (**plexus de Meissner**, PM). La capa **muscular** és gruixuda, normalment amb les cèl·lules més internes (properes a la llum) disposades circularment (C) i les més externes, de manera longitudinal (L). Enmig de les dues capes musculars observem un altre plexe nerviós, anomenat d'**Auerbach** (PA). Tots dos plexes estan interconnectats i tenen terminacions simpàtiques (provinents del gangli celiac) i parasimpàtiques que provenen del vague (desè parell cranial, neumogàstric). La capa externa està revestida de peritoneu; la major part del tub (**serosa**) és connectiva, amb grans vasos, nervis que hi conflueixen i adipòcits. Mc, macròfag; Mc, mastòcit; F, fibroblast.

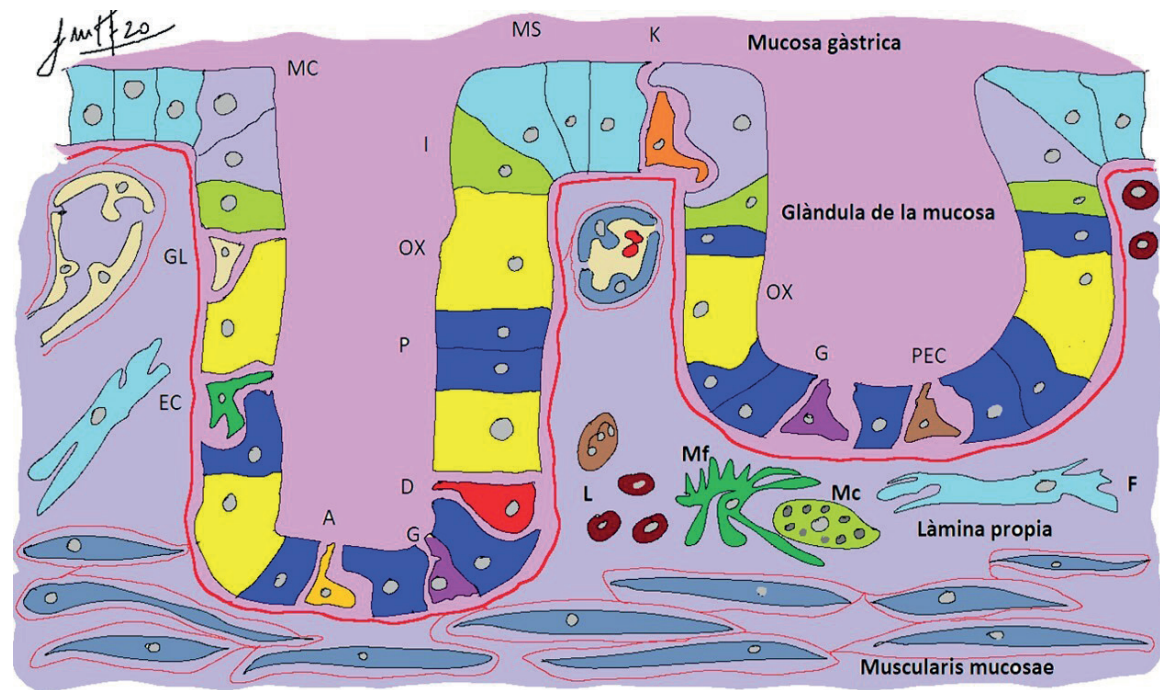


Pissarra 73. Disseny general del tub digestiu

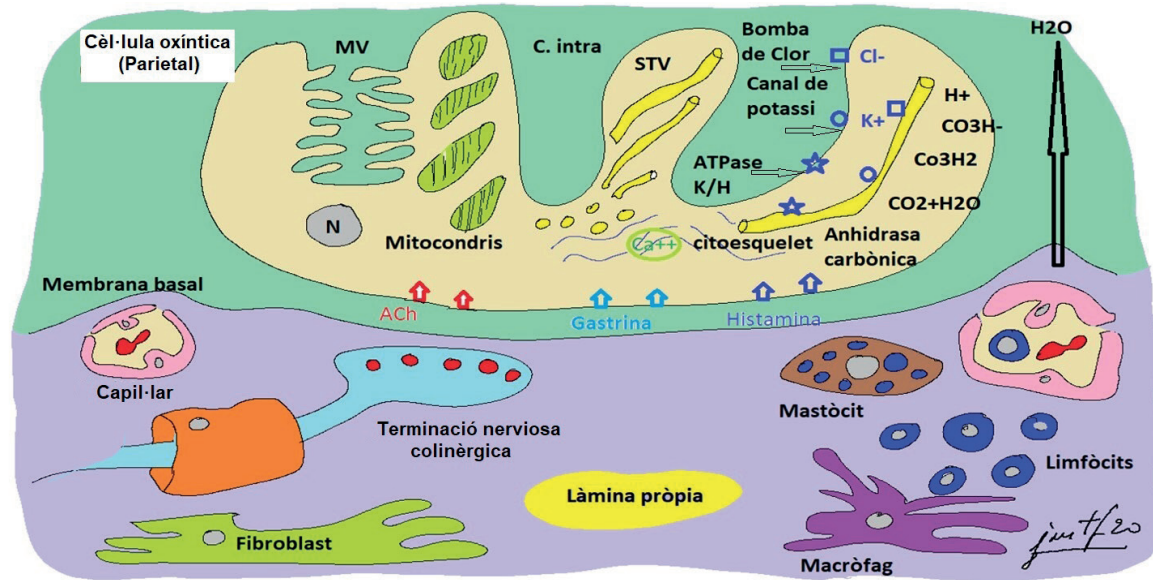
Estómac

L'epiteli gàstric forma glàndules tubulars ramificades restringides a la mucosa, sense travessar la *muscularis mucosae* i que s'obren a la llum per mitjà de fovèoles. L'epiteli cilíndric simple està integrat per cèl·lules mucoses superficials (MS), mucoses del coll (MC), indiferenciades (I), principals o pèptiques (P), parietals o bé oxíntiques (OX) i diverses endocrines (les principals: A, G, GL, EC, D, K, PEC). Les mucoses produeixen moc àcid i neutre per protegir la superfície. Les principals fan pepsinògen que es trenca en pepsina per hidrolitzar proteïnes. Les oxíntiques produeixen àcid clorhídric i un factor intrínsec per a l'absorció de vitamina B12 que es farà més avall, en el duodè. Les G produeixen gastrina; les PEC, histamina; les A, enteroglucagò; les GL, glicentina; les D, somatostatina, i les K, pèptid inhibidor gàstric. Especialment rellevants són les cèl·lules G, que en resposta a la presència d'aliments dintre de l'estómac, alliberen la gastrina que promou la secreció de moc, la proliferació de les cèl·lules indiferenciades, la secreció de les cèl·lules P i OX, i l'activitat de les cèl·lules de la *muscularis mucosae*. Mc, macròfag; Mc, mastòcit; F, fibroblast.

Les cèl·lules oxíntiques OX, estimulades per la gastrina (i per la histamina de les cèl·lules PEC i l'acetilcolina vagal, entre altres estímuls), incorporen a la membrana apical tubs i vesícules (STV, que incrementen la superfície amb canaliculs i microvellositats, MV) que porten canals de potassi (que surt a favor de gradient), una bomba de clor (extreu clor) i una bomba ATPasa que intercanvia K (recupera el que havia sortit) amb protons obtinguts a partir de CO_3H_2 per una anhidrasa carbònica activada simultàniament.



Pissarra 74. Mucosa gàstrica

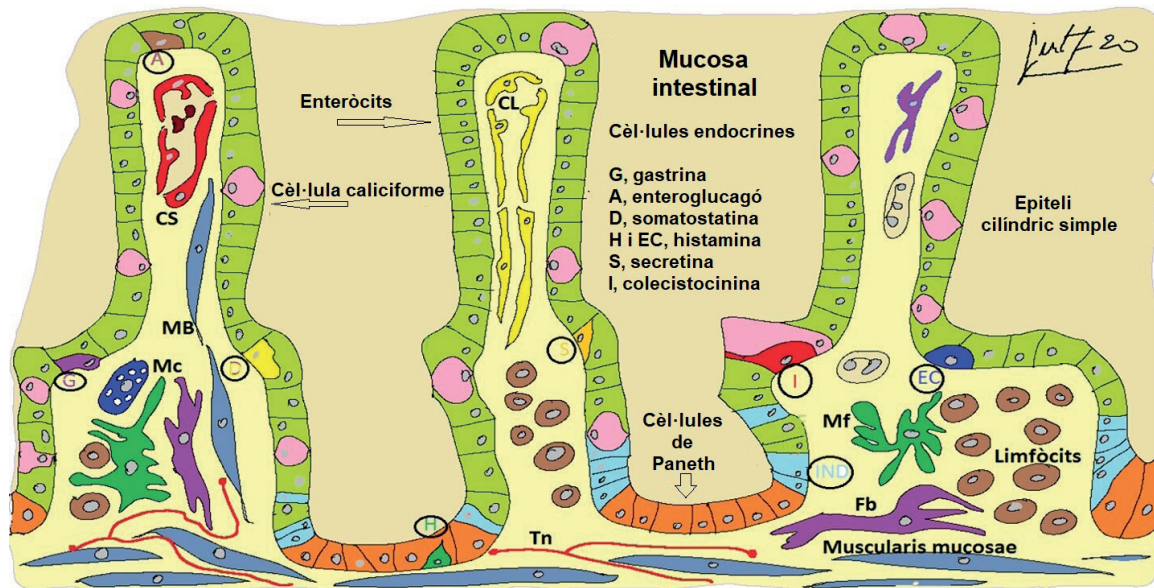


Pissarra 75. Cèl·lula parietal de la mucosa gàstrica

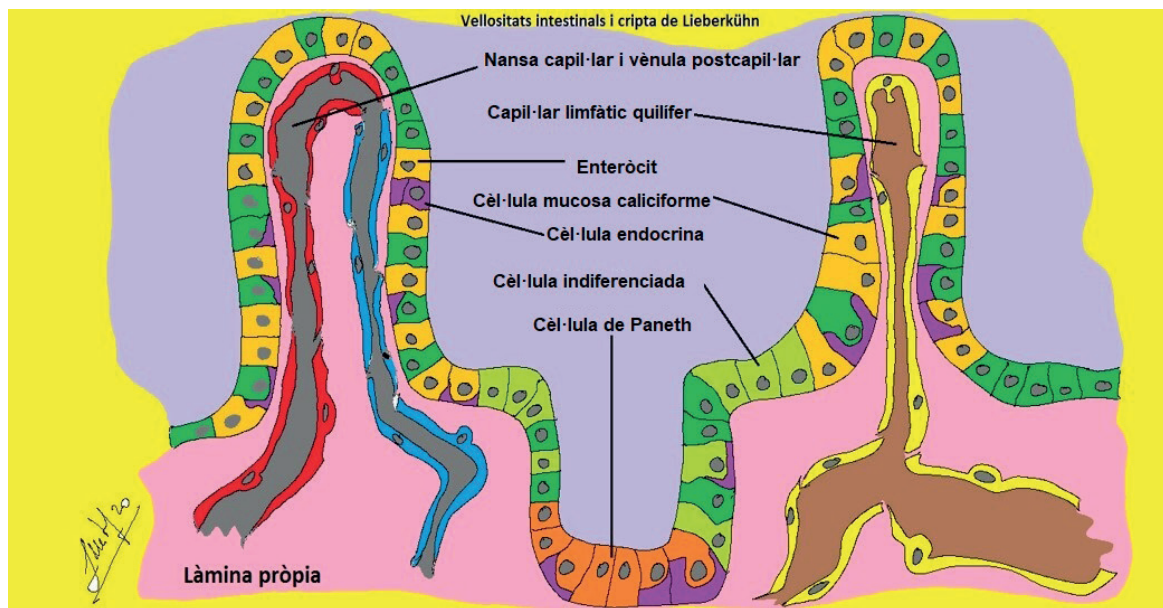
Intestí prim

En la mucosa del budell prim té lloc l'absorció de la major part de nutrients. La mucosa es projecta cap a la llum i forma les **vellositats intestinals** i glanduletes que recobreixen cada vellositat restringides a la mucosa (A). L'epiteli cilíndric simple conté **enteròcits** (cèl·lula absorbiva intestinal) i **cèl·lules caliciformes**. També presenta **cèl·lules indiferenciades** i **cèl·lules de Paneth** (en les glàndules anomenades de **Lieberkühn**). Les cèl·lules de Paneth, en el fons de les glàndules, produeixen peptidases i lisozims. Així mateix, disposa d'un ampli repertori de cèl·lules endocrines. Cada vellositat consta d'un eix central de làmina pròpia que allotja cèl·lules musculars llises originades en la *muscularis mucosae* (**múscul de Brücke**, MB). Aquestes cèl·lules es contrauen sis vegades per minut i afavoreixen la circulació de limfa en el **vas quilífer central** de la vellositat (que és el lloc on van a parar les grasses absorbides en forma de quilomicrons per acabar en el conducte toràctic). A més, disposa d'una xarxa capil·lar per recollir els derivats de l'absorció de proteïnes i hidrats de carboni que són transportats per la vena porta al fetge. Les **cèl·lules endocrines S i Panet** produeixen secretina i pancreeozimina, respectivament, que després de passar als vasos de la làmina pròpia arriba al pàncrees exocrí, que hi respon secretant bicarbonat (cèl·lules centroacinars) i una àmplia bateria d'enzims (proteases, lipases, amilases, nucleases, etc.) i la vesícula biliar respon a aquest procés alliberant bilis al duodè.

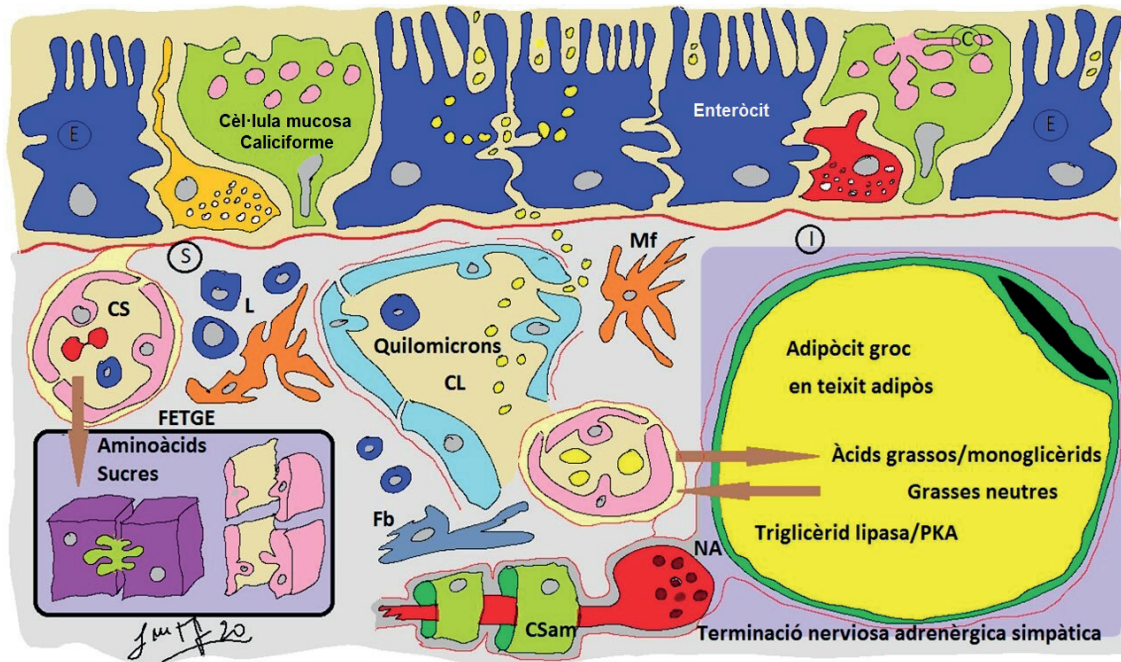
La lipasa pancreàtica i la bilis dissolen les grasses neutres i permeten l'absorció de gotícules d'àcids grassos i monoglicèrids que en forma de **quilomicrons** arriben al teixit adipós (B), el fetge i el múscul. Mc, macròfag; Mc, mastòcit; F, fibroblast; L, limfòcits; NA, noradrenalina.



Pissarra 76. (A1) Mucosa intestinal



Pissarra 77. (A2) Mucosa intestinal. Vel·lositats intestinals



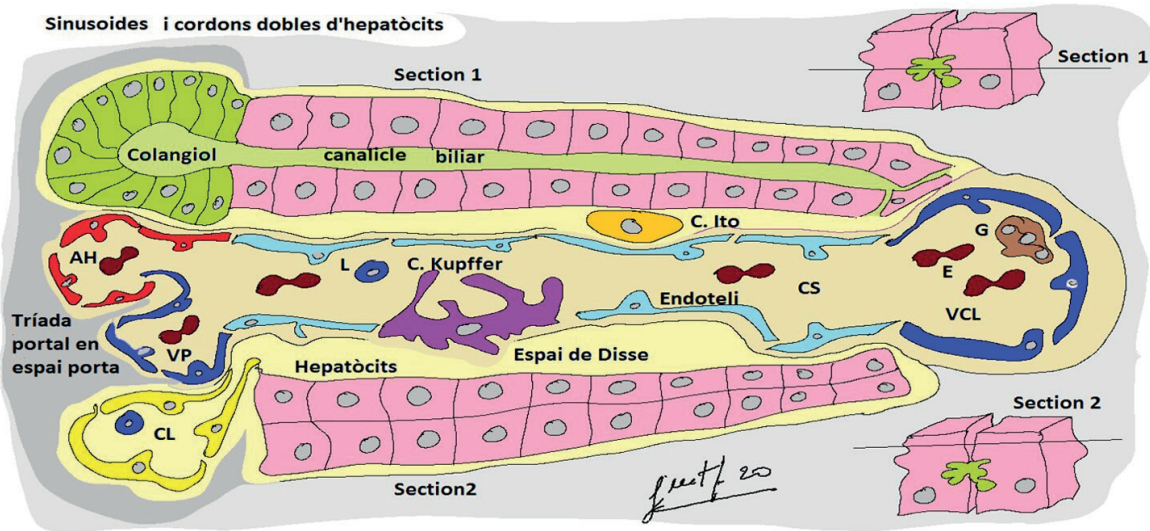
Pissarra 78. (B) Enteròcits i absorció intestinal

Glàndules

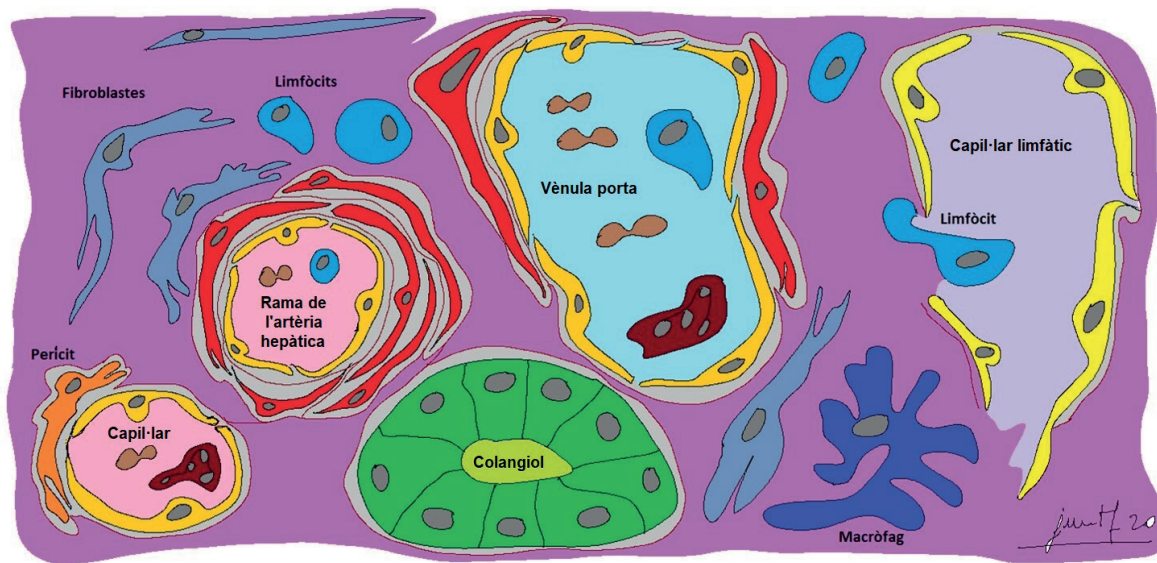
Les glàndules associades al tub digestiu són el fetge, el pàncrees i les salivals.

Fetge

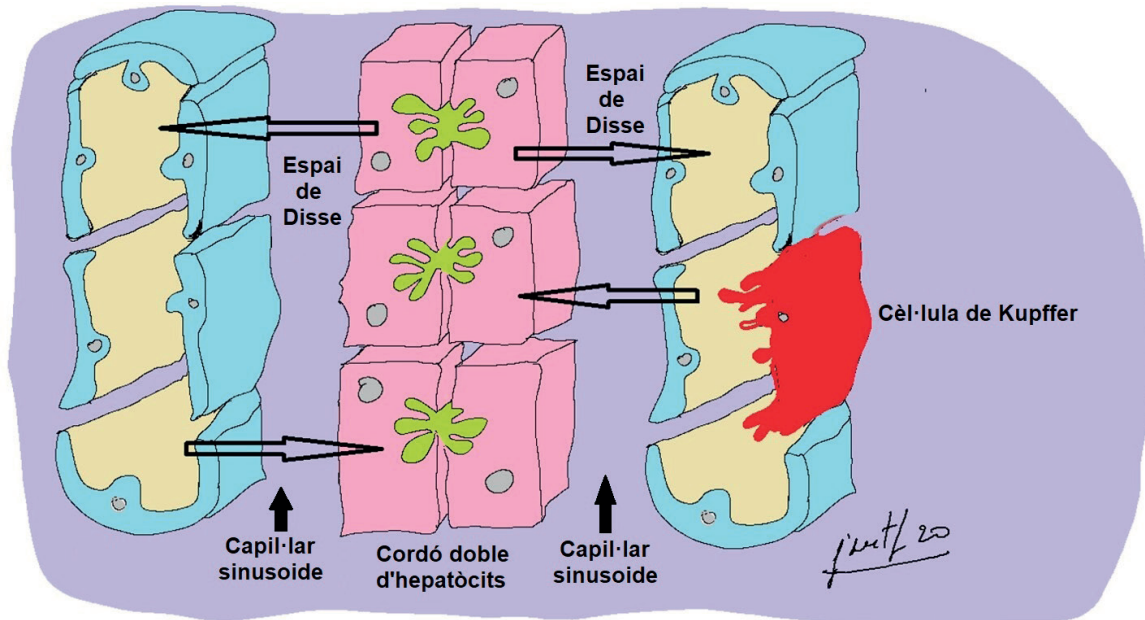
Aquest òrgan rep l'artèria hepàtica i la vena porta que recull la sang de l'intestí i de la melsa. Les dues circulacions conflueixen en els **capil·lars sinusoides** dissenyats per afavorir intercanvis amb els **hepatòcits** (d'origen endodèrmic). Els hepatòcits es disposen en forma de cordons i làmines, generalment dobles, dins un conjunt amb forma de prisma hexagonal (**lobulet hepàtic clàssic**). En les arestes del prisma (el lloc s'anomena **espai porta**) se situen una arteriola de l'artèria (AH), una vènula de la vena porta (VP), un vas biliar (**colangíol**) i generalment un de limfàtic (VL) (**tríada portal**). En anastomosar-se, els vasos donen lloc als capil·lars sinusoides (CS) que entren radialment, centrípetament cap al centre del lobulet, on trobem una vena centrolobular (VCL) que acabarà drenant cap a les venes suprahepàtiques. A banda i banda dels sinusoides es disposen els cordons dobles d'hepatòcits. Entre les parets aposades dels hepatòcits circula un **canalicle biliar** en el qual es secreta la bilis cap al colangíol. Entre hepatòcits i endoteli (sovint poc unit) es troba l'**espai de Disse**, on es produeixen els intercanvis i on es troben les **cèl·lules d'Ito** que emmagatzemen greix i vitamines liposolubles. L'espai de Disse sol buidar cap a un limfàtic portal. En el lloc que ocupen moltes cèl·lules endotelials s'instal·len els macròfags (**cèl·lules de Kupffer**).



Pissarra 79. Sinusoide hepàtic



Pissarra 80. Espai porta o portal



Pissarra 81. Hepatòcits i sinusoides



Lobulets clàssic, histològic, hexagonal

Lobulets biliar, de Mall

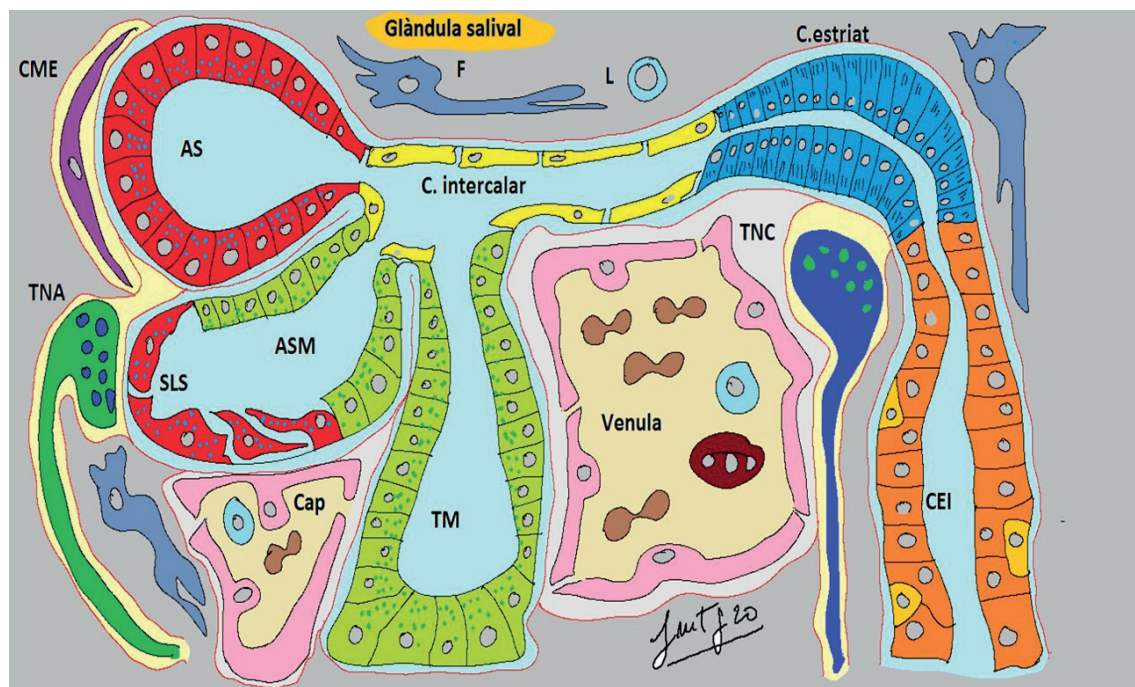
Lobulets de Rappaport, acinus hepàtic

Josep M. T. Ferré

Pissarra 82. Tres tipus de lobulets hepàtics

Glàndules salivals

Les glàndules salivals principals són tres: les **paròtides**, les **sublinguals** i les **submaxil·lars** (submandibulars). Estan dividides en lobulets. Les porcions secretores són acinoses (**alveolars**) o tubulars amb cèl·lules **seroses** productores d'amilasa i les **mucoses**. Molts àcins són només serosos (AS, paròtida), d'altres mucosos (TM, tubs de la sublingual) i uns altres mixtos seromucosos (ASM, submaxil·lar). En aquests darrers les cèl·lules seroses se solen disposar en forma de semilluna al fons dels àcins (SLS). El primer conducte de secreció és el **conducte intercalar** (epiteli pla). El segueix el **conducte estriat** (cèl·lules cilíndriques amb nombrosos plecs i mitocondris per suportar la reabsorció de sodi i aigua sota la influència de les hormones aldosterona i antidiürètica. També sota la influència del sistema nerviós autònom simpàtic (TNA, terminació nerviosa adrenèrgica) i parasimpàtic (TNC, terminació nerviosa colinèrgica). El simpàtic promou la producció d'una saliva espessa amb alt contingut d'amilasa, moc i poc líquida (boca seca com a reacció d'estrès). Finalment, segueix el **conducte excretor interlobular** (CEI, epiteli pseudoestratificat) i el **conducte excretor** de la glàndula cap a la boca (conducte de Stenon en el cas de la paròtida que es troba al costat del segon molar superior). Per tota la cavitat orofaríngia també hi ha moltes glanduletes salivals més petites que mantenen la boca humida.



Pissarra 83. Lobulet salival

Pàncrees

El pàncrees exocrí té una estructura similar a la paròtida, als àcins secretors i als conductes excretors interlobulars (CEI). Les **cèl·lules acinars** (CA, seroses) són cúbiques, amb canalicles entre elles que connecten amb la cavitat i produeixen un líquid serós ric amb enzims sota la influència de la pancreozimina produïda per les cèl·lules I del duodè. A diferència dels àcins salivals, al pàncrees trobem **cèl·lules centroacinars** (CCA). Aquestes cèl·lules es continuen amb l'epiteli dels conductes i produeixen un líquid ric en bicarbonat sota la influència de la secretina produïda per les cèl·lules S del duodè. El suc pancreàtic, ric en bicarbonat i enzims, passa finalment al duodè pel **conducte de Wirsung** juntament amb el colèdoc provinent del fetge i la vesícula biliar (que transporta bilis en resposta a la pancreozimina —en aquesta funció anomenada colecistocinina—).

Entre el parènquima exocrí del pàncrees es troben milers **d'illots (de Langerhans)** de cèl·lules endocrines que envolten capil·lars fenestrats. Cèl·lules B productores d'insulina, A de glucagó i almenys també D de somatostatina. TNV, terminació nerviosa vegetativa.



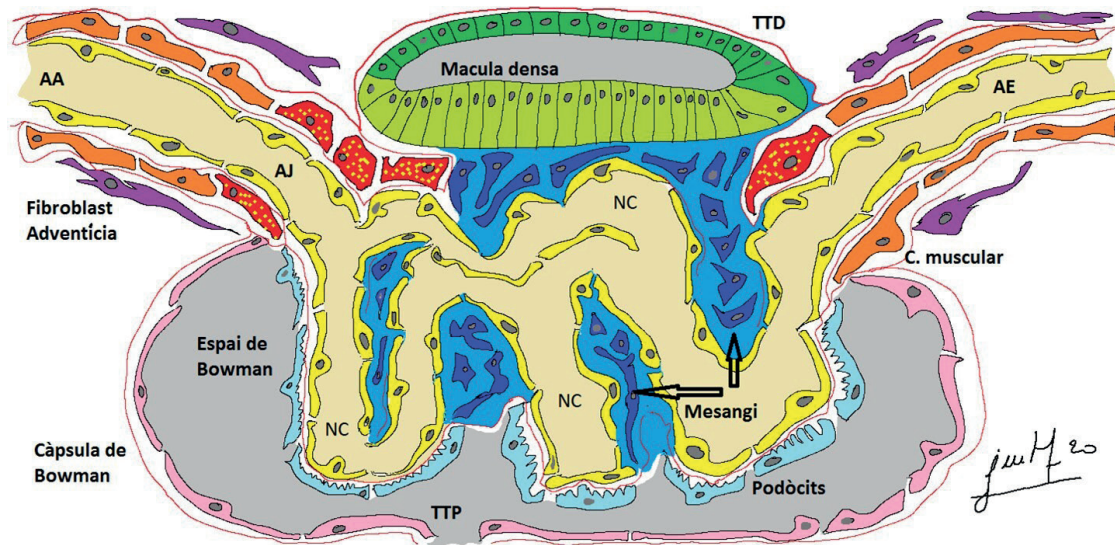
Pissarra 84. Lobulel pancreàtic i illot de Langerhans

7. Els òrgans excretors

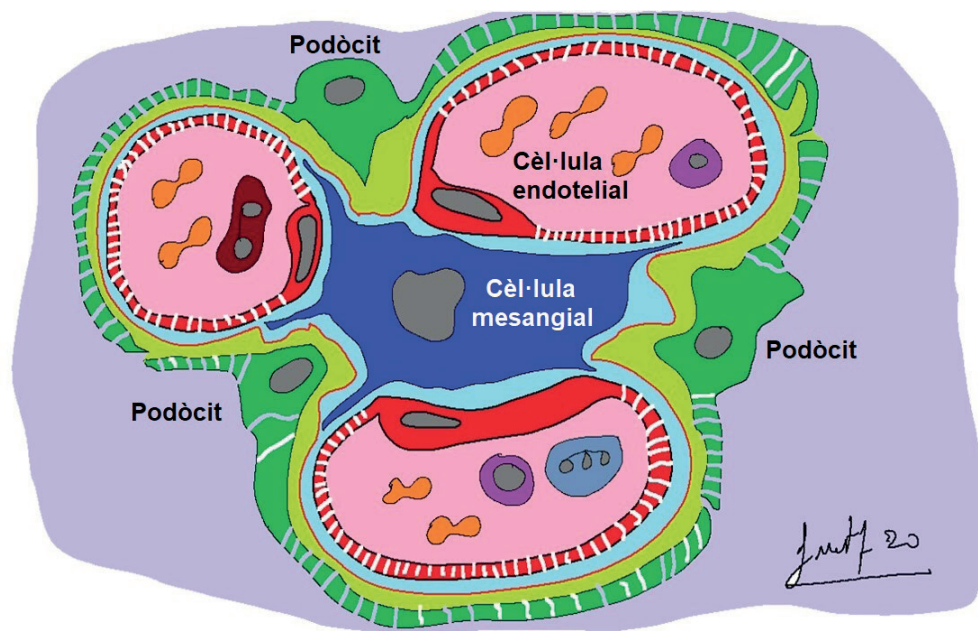
L'aparell excretor està format pels ronyons, els urèters, la bufeta i la uretra. Els ronyons tenen càpsula, còrtex i medul·la. Estan formats per milers d'unitats bàsiques anomenades nefrones. Cada **nefrona** està formada per un cabdell de vasos fenestrats sense diafragma que filtren la sang, embolcallats per una coberta en forma de copa de cèl·lules planes (**càpsula de Bowman**). El conjunt s'anomena **glomèrul** i només es troba en el còrtex renal, però a diferent profunditat (**nefrones corticals i juxtamedul·lars**). La càpsula i l'espai que limita (**espai de Bowman**) continua amb un llarg tub epitelial, amb diferències seqüencials morfològiques i funcionals, que reabsorbeix la major part del filtratge. Finalment acaba en un **tub col·lector** abans de gotejar per la **papil·la** corresponent cap als **calzes i la pelvis renal** i drenar pels urèters cap a la bufeta. El tub de la nefrona comença en el còrtex, descendeix cap a la medul·la i retorna al còrtex (forma la **nansa de Henlé**) per fer contacte amb el glomèrul abans de connectar amb un tub col·lector en el mateix còrtex. Dels 125 ml de filtratge del plasma cada minut, tan sols 1 ml acaba expulsat. La seqüència de segments dels tubs és la següent: tub tortuós proximal (TTP, sobretot en el còrtex), tub recte proximal (TRP, ja a la medul·la), tub prim descendent (TPD), tub prim ascendent (TPA), tub recte ascendent (TRA, a punt de retornar cap al còrtex) i tub tortuós distal (TTD).

Glomèrul renal. El glomèrul renal és la unitat de filtració renal del plasma (A). Els capil·lars (NC, nanses capil·lars) s'originen en una arteriola aferent (AA i aa) i drenen per una arteriola eferent (AE i ae). Aquesta darrera origina capil·lars que irriguen el mateix còrtex (glomèruls corticals) o bé els capil·lars descendeixen cap a la medul·la per formar una nansa vascular (**vasos**

rectes) que acompanya la nansa urinària de Henle (en glomèruls juxtamedul·lars). En la capa mitjana de l'arteriola aferent, els miòcits llisos estan modificats com a cèl·lules secretores de **renina** en resposta a una disminució de la pressió sanguínia. L'enzim renina trenca l'**angiotensinogen** plasmàtic i deixa **angiotensina** que, després de transformar-se al seu pas pel pulmó, incrementa la tonicitat de les cèl·lules musculars de artèries i arterioles, i apuja la pressió sanguínia. Les cèl·lules secretores de renina responen a l'estímul induït directament per les cèl·lules de la **màcula densa** que monitoritzen el sodi en el tub de la nefrona que es troba just al costat. L'angiotensina resultant promou l'alliberament d'aldosterona en la capa glomerular del còrtex suprarenal, la reabsorció de sodi en el tub més distal de la nefrona (TTD, tub tortuós distal) i el col·lector amb un augment de la natrèmia, volèmia i pressió sanguínia. L'anomenat **aparell juxtaglomerular** (AJ) està format per les cèl·lules musculars modificades de la AA, la màcula densa i les cèl·lules mesangials properes. Les nanses capil·lars (B) també contenen dins la membrana basal **cèl·lules mesangials intraglomerulars**, que eliminen les restes de la filtració a través de la membrana basal i tenen certa activitat contràctil que regula el flux (i la filtració) pels capil·lars, ja que poden tancar algunes nanses. La membrana basal la produeix bàsicament la cèl·lula endotelial capil·lar. Aquesta membrana és fenestrada sense diafragma (porus d'uns 60 nanòmetres —nm—) i permet nivells de filtració elevats. Finalment, el filtratge del plasma ha de passar entre els petits peus (pedicels) dels **podòcits** separats entre si per les **ranures de filtració**, amb un diafragma de **podocalixina** que deixa passar molècules d'entre 4-5 nm. Els podòcits deriven durant el desenvolupament de la cara més interna de l'epiteli de la càpsula de Bowman.



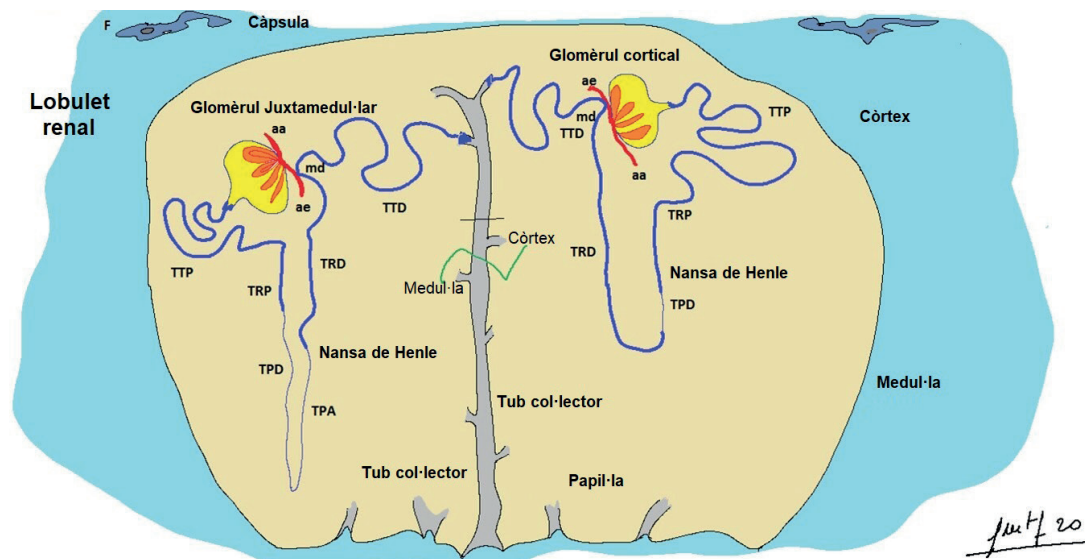
Pissarra 85. (A) Glomèrul renal



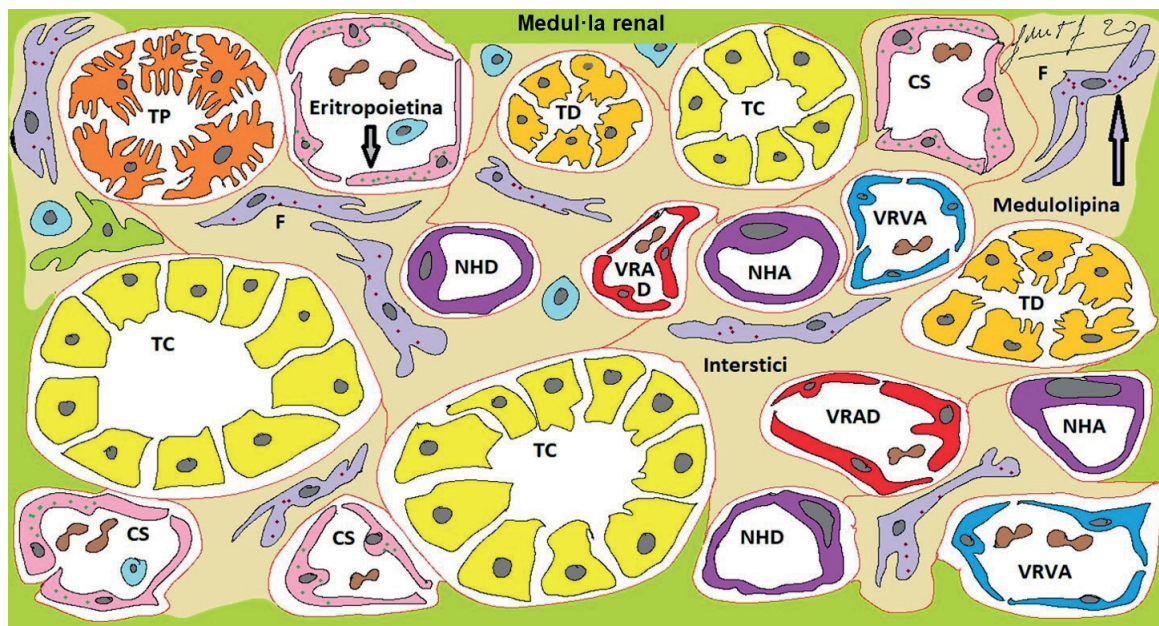
Pissarra 86. (B) Nanses capil·lars glomerulars

Medul·la renal

La medul·la renal allotja bàsicament la nansa de Henle de les nefrones i els tubs col·lectors. També alguns fragments dels altres segments de la nefrona, sobretot en el límit corticomedul·lar. En el dibuix es representen talls transversals de tots els tubs però és difícil veure'ls plegats. En el tub proximal (TP) es fa l'absorció de 2/3 del filtratge inicial (proteïnes, glucosa, aminoàcids, ions) a través d'un epitel·li cúbic amb cèl·lules ben plegades per fer-ne el transport actiu amb bombes i transportadors. La nansa de Henle està formada per totes les seccions rectes dels diferents segments (TRP, TPD, TPA i TRD) i té la funció de reabsorbir aigua i sodi i concentrar l'orina. Els animals de zones seques presenten nanses molt llargues per no perdre aigua i sodi. Els aquàtics gairebé no en tenen. La porció descendent (TPD) deixa passar aigua a l'interstici estirada per un **gradient corticomedul·lar de sodi (i urea)**. El gradient es forma quan l'orina de l'interior del TPD, que és permeable a l'aigua (NHD, nansa de Henle descendent), es va concentrant en perdre l'aigua que s'expulsa per l'interstici i el sodi que conté es concentra i acaba sortint passivament a favor de gradient, progressivament, de baix a dalt, pel TPA (NHA, nansa de Henle ascendent, que és impermeable a l'aigua). Aquest gradient és permanent, no es desfà per aclariment dels capil·lars sanguinis perquè formen una nansa vascular paral·lela i aposada a la nansa urinària de Henle, i d'aquesta manera el sodi o l'aigua que entra en la porció descendent del vas (VRAD, vas recte arterial descendent) torna a sortir pel vas ascendent (VVRA, vas venós recte ascendent).



Pissarra 87. Lobulel renal mostrant còrtex i medul·la

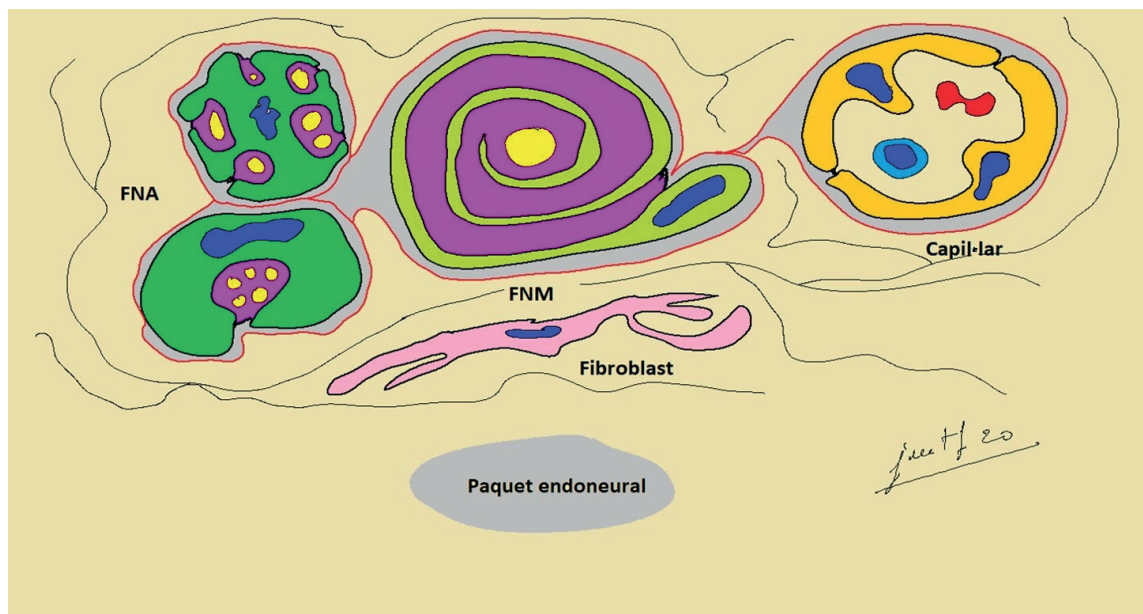


Pissarra 88. Medul·la renal en el límit corticomedul·lar

8. Els òrgans neurals: comunicació a distància ràpida i precisa

Nervis

Els nervis formen part del sistema nerviós perifèric juntament amb els ganglis sensitius i vegetatius. Estan constituïts per agrupacions de **fibres nervioses** que són prolongacions neuronals centrífugues (axons) o centrípetes (dendrites) que compleixen la funció de comunicar senyals elèctrics (potencials d'acció autopropagats) a distància. Les fibres nervioses poden ser **mielíniques** (FNM, les més grans i ràpides) o **amielíniques** (FNA), centrípetes o centrífugues, generalment barrejades i que poden salvar grans distàncies (alguna cosa així com una pilota de tennis —una motoneurona lumbar— que envia un cable motor a 2 quilòmetres de distància —a un múscul del peu—). Acompanyant unes poques fibres, hi ha capil·lars sanguinis amb un teixit connectiu que s'anomena **endoneuri**. Quan el nervi entra al sistema nerviós central, l'endoneuri formarà la membrana pial (meninge pial o **piamàter**). Agrupant diversos grups de fibres nervioses com el descrit, es forma un feix envoltat per cèl·lules concèntriques (7-8 capes) unides estretament (desmosomes i altres aparells d'unió) amb més teixit connectiu que aïllen el feix. Aquest teixit connectiu s'anomena **perineuri**. Es pot suturar curosament després d'un trauma, i això permet la regeneració de les fibres nervioses perifèriques. En el sistema nerviós central el perineuri produeix l'**aracnoide** o meninge aracnoide. Finalment, tots els paquets perineurals són agrupats per un teixit connectiu, dens i capsular anomenat **epineuri** que acabarà donant forma a la **duramàter** o meninge dural.

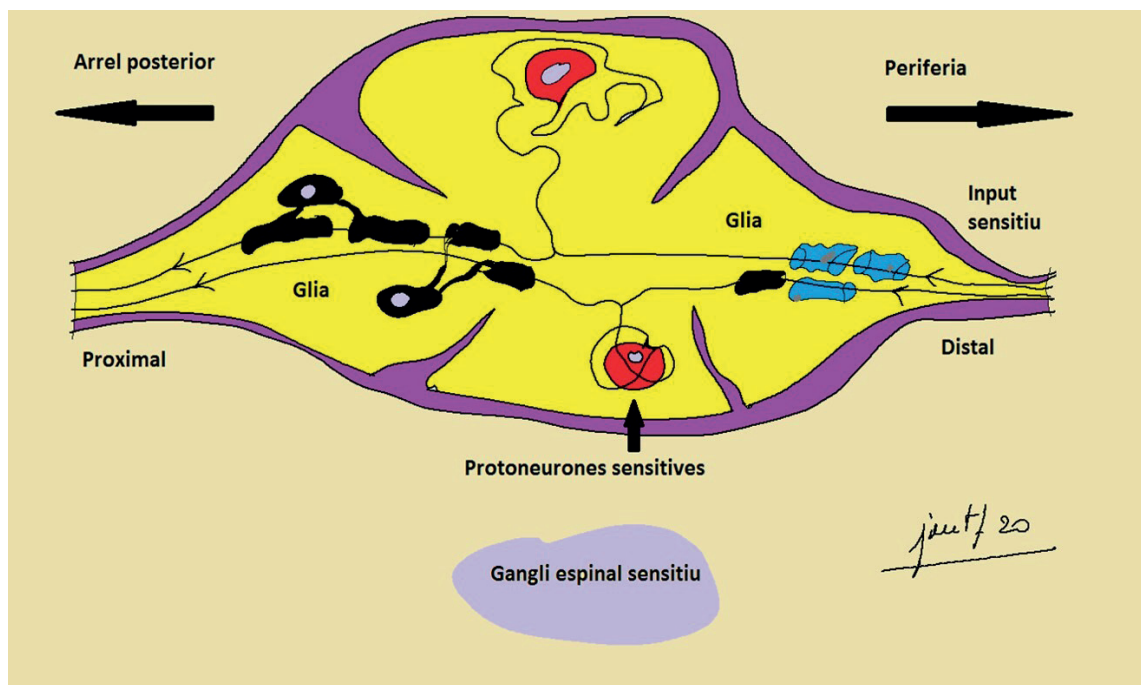


Pissarra 89. Fibres nervioses i endoneuri

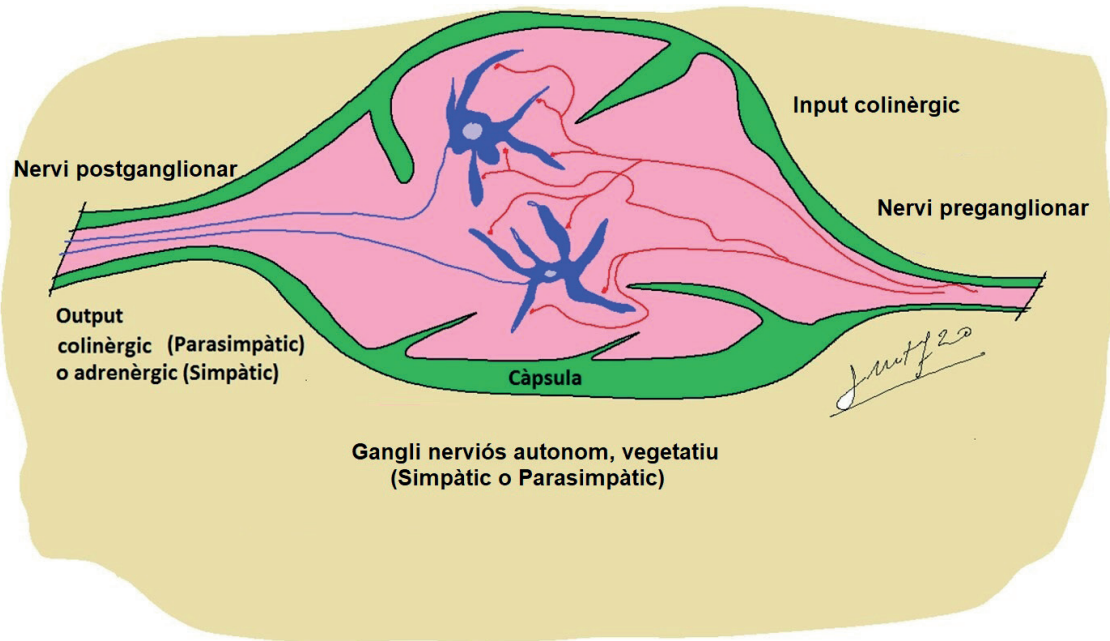
Ganglis

Ganglis espinals. Els ganglis espinals (A) se situen en les arrels posteriors de la medul·la i allotgen en el còrtex les **protoneurones sensitives**, que són pseudomonopolars perquè tenen una curta prolongació que aviat es divideix en T (normalment en la medul·la del gangli) i envia una prolongació central a l'interior de la medul·la i una de perifèrica, centrípeta (dendrita). Aquesta darrera, en passar al nervi raquidi (que es forma per la unió d'una arrel posterior —AP— i una anterior —AA—) donarà forma (sovint a molta distància) a un aparell sensitiu **externoceptiu** (per exemple, terminacions nervioses doloroses en la pell del peu) o **propioceptiu** (per exemple, fusos neuromusculars que detecten estiraments en un múscul del peu). Els cossos de les neurones estan envoltats i protegits per cèl·lules glials planes anomenades **cèl·lules satèl·lit**, mentre que les fibres nervioses ho estan per **cèl·lules de Schwann** (mielíniques les més grans) les perifèriques i per **oligodendròcits**, les centrals, durant el recorregut que pot arribar al cerebel i més amunt.

Ganglis vegetatius. Els ganglis del sistema nerviós autònom, vegetatius (B), no solen diferenciar còrtex i medul·la. Allotgen neurones multipolars innervades per terminacions nervioses colinèrgiques provinents del sistema nerviós central (banyes laterals de la medul·la o nuclis del tronc). Les sinapsis són axosomàtiques i axodendrítiques i el neurotransmissor principal és l'acetilcolina. Aquestes neurones poden ser colinèrgiques (en els ganglis parasimpàtics) o adrenèrgiques (en els ganglis simpàtics, com el celíac, que innerva tot el tub digestiu).



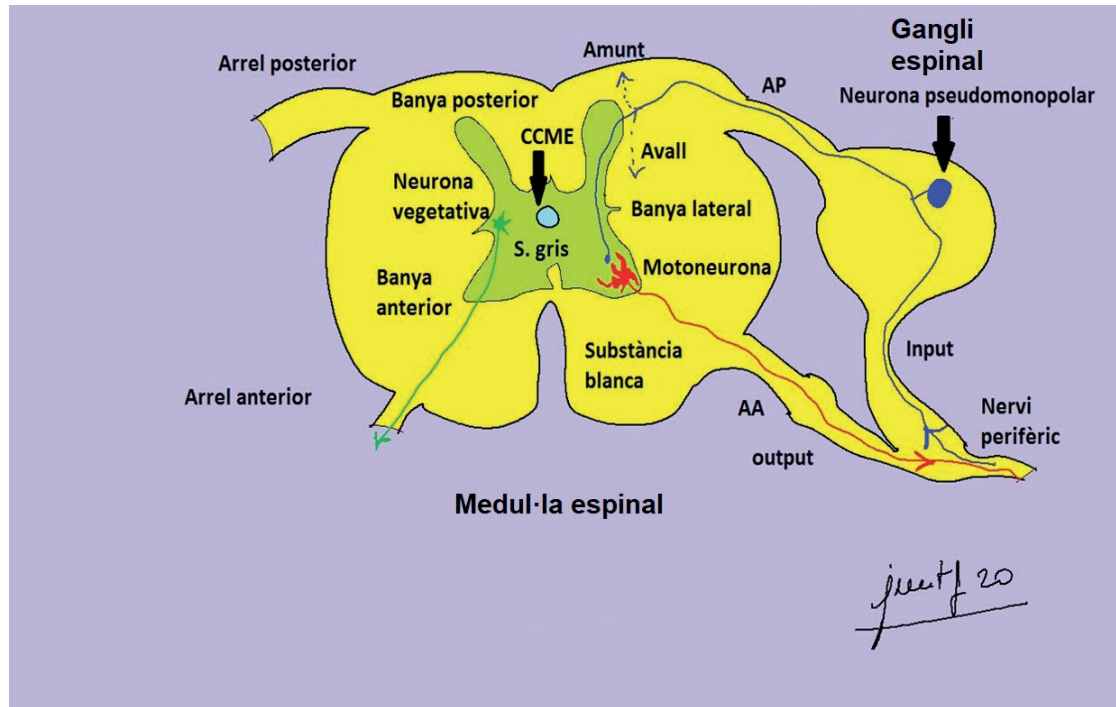
Pissarra 90. (A) Gangli espinal



Pissarra 91. (B) Gangli vegetatiu

Medul·la espinal

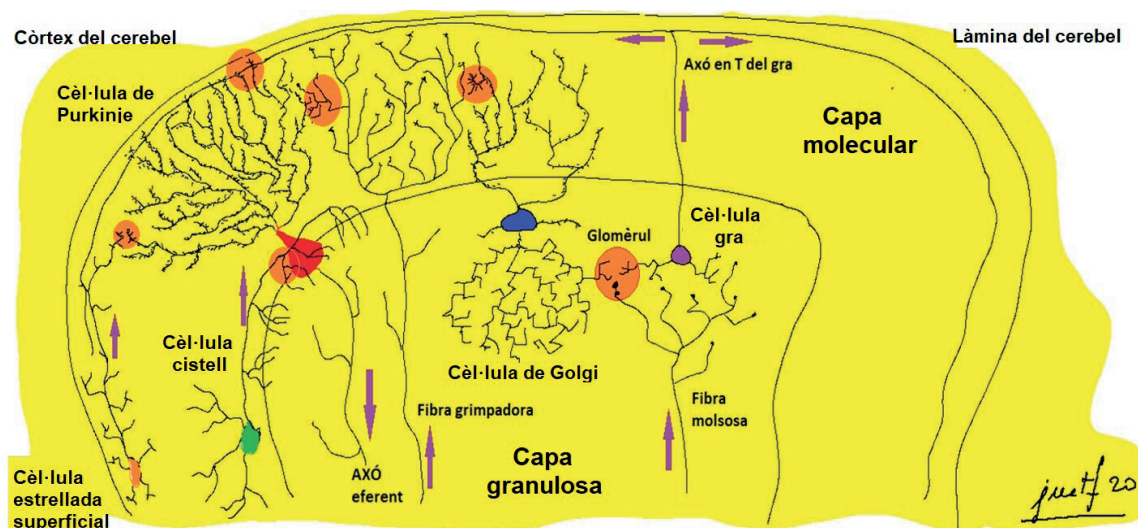
La medul·la espinal és l'òrgan del sistema nerviós central més senzill. Els teixits connectius dels nervis ja s'han agrupat per formar les tres meninges. La **substància gris** (les agrupacions de neurones —**nuclis**— amb les prolongacions axonals i dendrítiques més properes al soma —**neuròpil**—) ocupen el centre de l'òrgan i mostren dues banyes posteriors, dues anteriors i dues laterals. Pel centre discorre el canal central de la medul·la espinal (CCME), revestit per epiteli cúbic ciliat (**epèndima**) i ple de **líquid cefalorraquidi**. A les banyetes laterals se situen les **neurones vegetatives** centrals que innerven als ganglis corresponents. A les banyes anteriors es troben les **motoneurones** que envien l'axó cap a la perifèria per innervar les cèl·lules musculars esquelètiques estriades. Cada motoneurona innerva un grup de miòcits estriats; el conjunt s'anomena **unitat motora**. Les motoneurones reben sinapsis provinents de la prolongació central de les protoneurones sensibles del mateix nivell o d'un de diferent i de neurones d'axó curt locals intermediàries (moltes són inhibidores). El conjunt és la base dels **reflexos propioceptius**, com el miotàtic i el miotàtic invers, i altres d'origen **externoceptiu** (retirada d'una extremitat amb el dolor) i **viscerals**. A més, les motoneurones reben múltiples sinapsis provinents d'òrgans superiors, com el cervell (que monitoritza i coordina tota l'activitat motora) i el cervell (activitat motora voluntària). Les motoneurones són la **via final comuna de tota l'activitat motora**.



Pissarra 92. Medul·la espinal

Cerebel

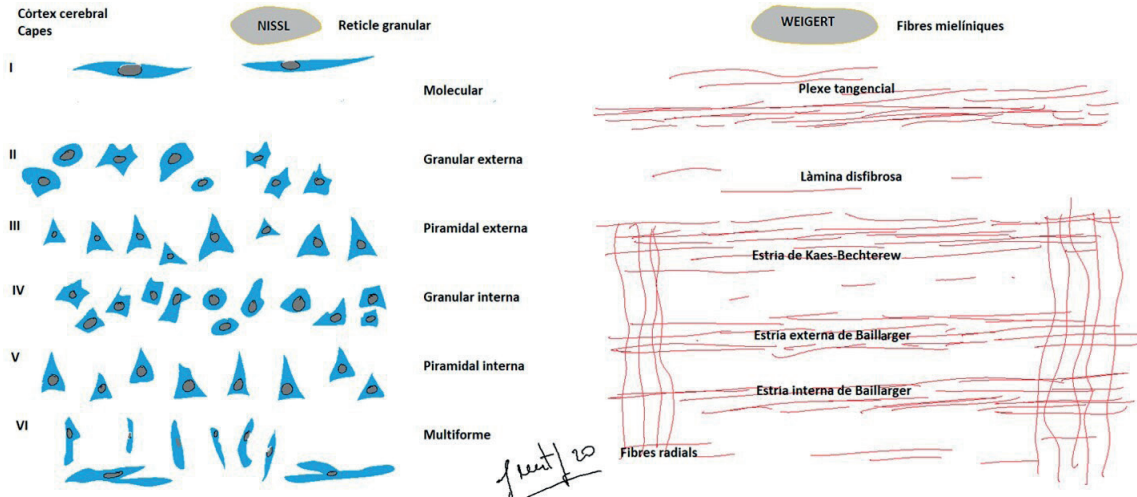
El cerebel és la part de l'encèfal dedicada al control automatitzat de l'activitat motora. Així, rep fibres nervioses aferents provinents de la medul·la (sensibilitat externa i propioceptiva), fibres dels òrgans de l'equilibri en l'oïda interna i el nucli vestibular, i fibres nervioses del còrtex cerebral motor voluntari. Consta d'un **còrtex** i de **nuclis centrals** de substància gris i substància blanca que els connecta i per on circulen aferències i eferències. El còrtex està organitzat en petites circumvolucions anomenades **laminetes**. Cada lamineta té substància gris per fora i un eix de substància blanca. La substància gris té tres capes, de fora a dins: **capa molecular** (poques cèl·lules i moltes fibres, **capa monocel·lular de cèl·lules de Purkinje** i **capa granulosa** amb nombroses cèl·lules petites, els grans o **grànuls del cerebel**, el tipus més abundant de neurones en tot el sistema nerviós. Les fibres nervioses aferents, que provenen dels tres llocs principals esmentats abans, formen sinapsis amb les neurones dels nuclis centrals, i aquestes donen forma a totes les eferències del cerebel, que van al còrtex cerebral motor i circulen per alguna estació intermèdia (nuclis roig i vestibular, per exemple), a innervar les motoneurones que constitueixen la via final comuna de l'activitat motora. No obstant això, les fibres aferents també es dirigeixen simultàniament (a més dels nuclis centrals) cap al còrtex. Hi arriben en forma de **fibres molsoses** i **grimpadores** amb la finalitat de modular l'activitat inhibidora de les **cèl·lules de Purkinje** sobre les neurones centrals. Aquesta modulació es desenvolupa amb el concurs d'un circuit local cortical format pels grans òrgans del cerebel (excitadors), de les **cèl·lules de Golgi** (inhibidores), i de les **cèl·lules estrellades** i en **cistell** de la capa molecular (inhibidores). Així doncs, el còrtex cerebel·lós actua com un supervisor que modula (a través de les cèl·lules de Purkinje) l'activitat dels nuclis centrals.



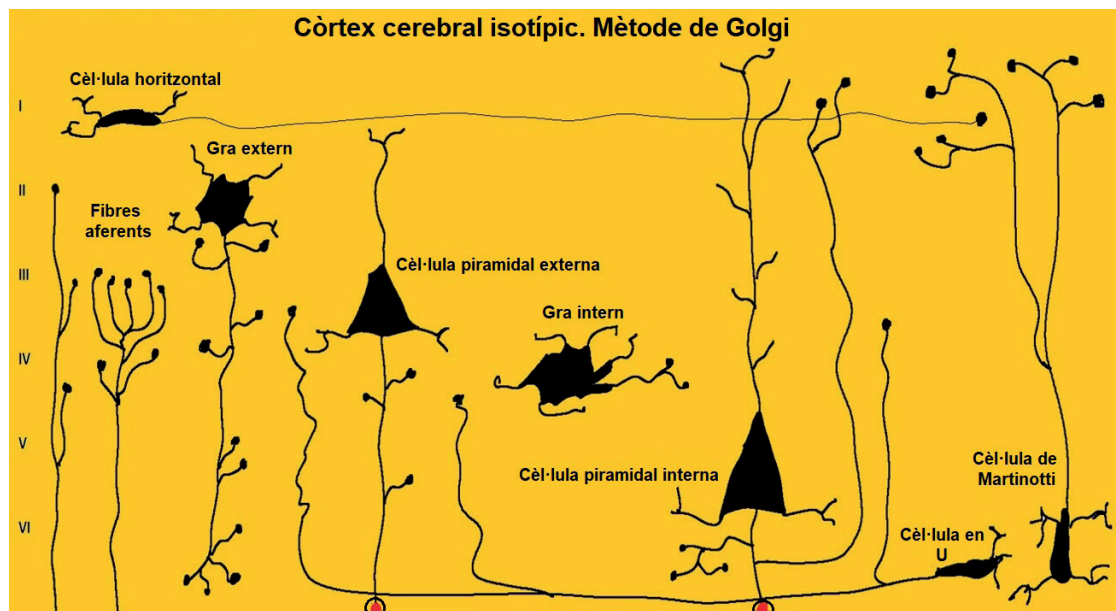
Pissarra 93. Cerebel

Cervell

El còrtex de la substància gris cerebral també està organitzat en capes de neurones, fins a sis en les posicions més complexes. La **citoarquitectura** (A) s'analitza amb la **tècnica de Nissl**, que evidencia els somes quan es tenyeix la gran quantitat de reticle granular i ribosomes (cossos de Nissl) que contenen les neurones per mantenir el volum elevat que representa el conjunt de les prolongacions. En la figura A es pot veure la forma de les neurones i el nom de les capes. La **mieloarquitectura** utilitza una tècnica clàssica d'hematoxilina (**Ilei de Weigert**) per demostrar la mielina de les fibres (les fibres radials, per exemple, són les aferents que es distribueixen en el còrtex). Alteracions de la citoarquitectura i mieloarquitectura poden ser valorades en anatomia patològica. La **impregnació argèntica de Golgi** (B) tan sols permet identificar algunes cèl·lules en cada preparació, però de manera generalment completa (somes i prolongacions curtes i llargues, sempre que quedin dins el tall histològic que en aquesta tècnica pot ser molt gruixut). Aquests tres procediments han permès, des de fa molts anys, conèixer l'organització histològica del sistema nerviós amb una gran precisió.



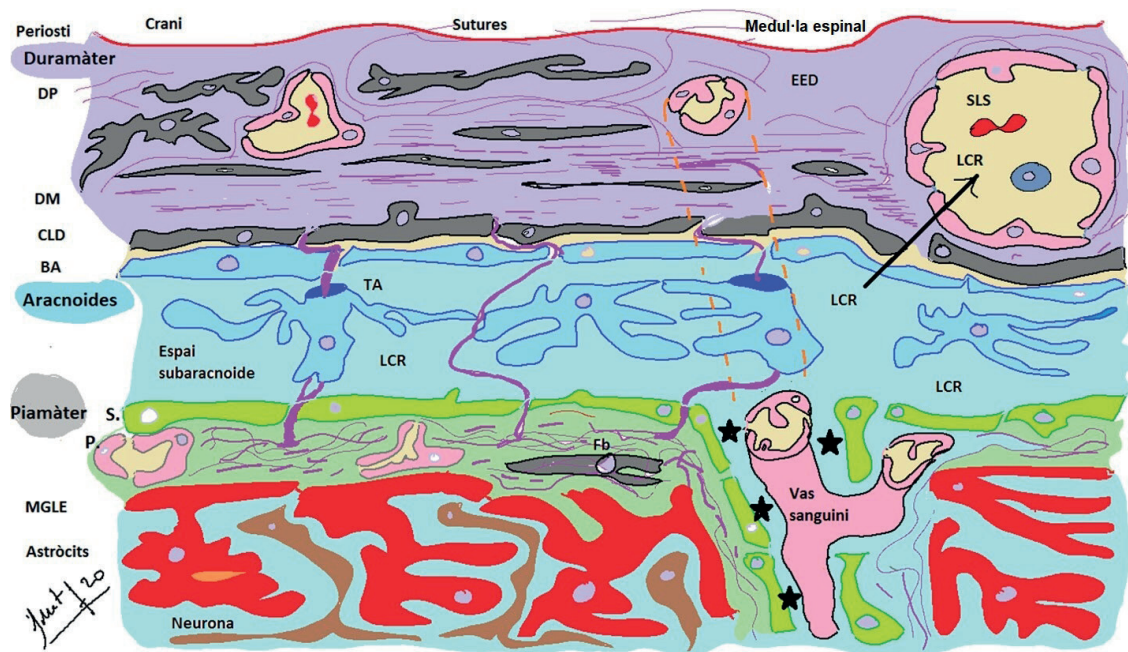
Pissarra 94. (A) Arquitectura del còrtex cerebral



Pissarra 95. (B) Arquitectura del còrtex (mètode de Golgi)

Teixit connectiu en el sistema nerviós

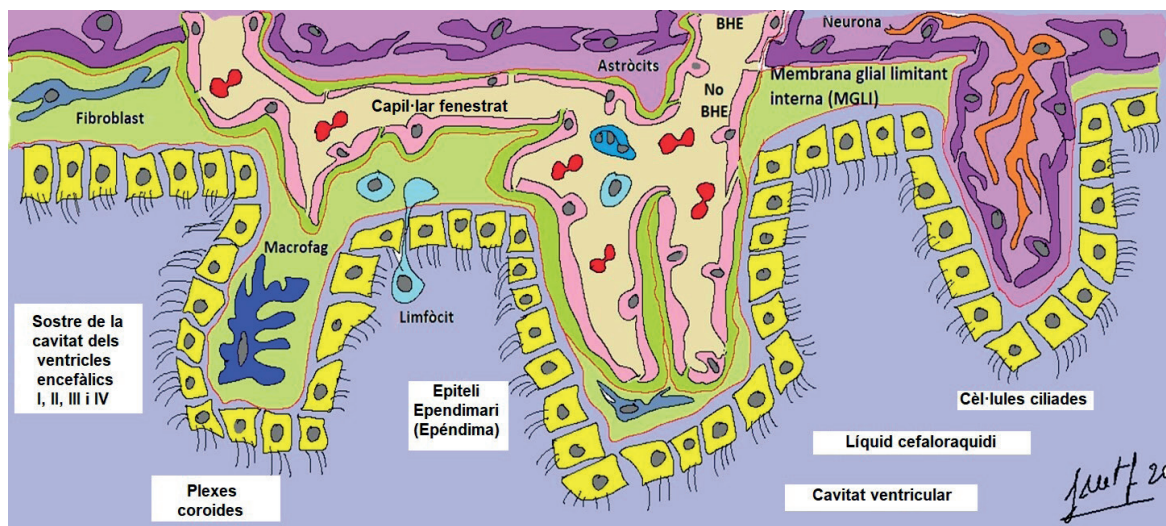
Meninges. Les tres meninges (**piamàter, aracnoide i duramàter**) són la coberta externa connectiva del sistema nerviós central i estan formades per l'agrupació de l'endoneuri, el perineuri i l'epineuri del sistema nerviós perifèric. La **piamàter** continua cap a la profunditat dels òrgans nerviosos acompanyant els vasos. La **duramàter** és la més externa, capsular, formada per teixit connectiu dens orientat. Presenta una part superficial (duramàter periòstica, DP) on es ramifiquen els vasos i comparteix fibres col·làgenes d'ancoratge amb el periosti en les sutures òssies. A nivell de la medul·la deixa un **espai epidural** (EED) on es poden injectar substàncies. La duramàter profunda (DM, meníngia) presenta fibres col·làgenes més atapeïdes i alguna capa de cèl·lules limitants, anomenada de cèl·lules del límit dural (CLD). Aquí es pot localitzar una hemorràgia subdural que sovint afecta la capa següent, l'**aracnoide**, que també es coneix com a hemorràgia aracnoidal. Al mig de la duramàter, sense paret pròpia, es formen alguns **sinus venosos, com el longitudinal superior** (anteroposterior enmig dels dos hemisferis). En la membrana aracnoidal, es troben cèl·lules aplanades que la separen de la duramàter (cèl·lules de la barrera aracnoidal, BA). Algunes d'aquestes cèl·lules acompanyen fibretes col·làgenes que travessen l'**espai aracnoidal (o subaracnoidal)** ple de líquid cefalorraquidi i s'anomenen **trabècules aracnoidals** (TA). Finalment, la piamàter més superficial (PS) limita l'espai aracnoidal i la més profunda, formada per teixit connectiu lax, acompanya els vasos cap a la profunditat. La piamàter queda separada de les neurones i el neuròpil per la **membrana glial limitant externa** (MGLE), formada per peus dels astròcits.



Pissarra 96. Meninges

Plexes coroidals

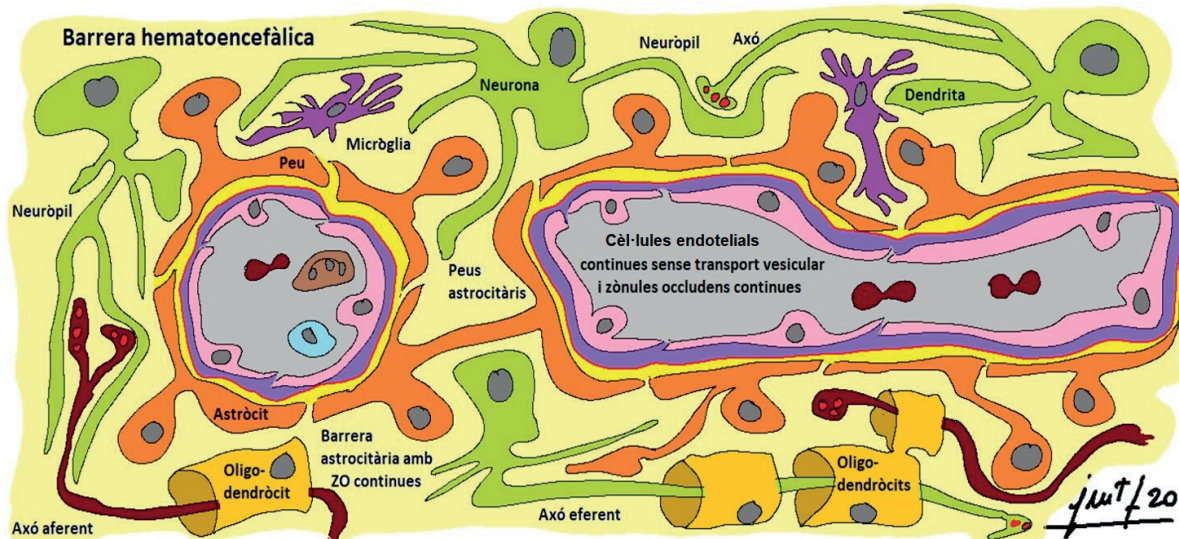
Els plexes coroides són un cabdell de capil·lars fenestrats que pengen del sostre dels quatre ventricles encefàlics. Es formen quan, després de travessar el teixit nerviós des de la piamàter, acompanyats de teixit connectiu pial, alguns vasos travessen la **membrana glial limitant interna** (MGLI) formada per astròcits (que aïlla les neurones més profundes de l'**epiteli endimari**). Aquest teixit pial, ric en capil·lars, penja del sostre ventricular encara que recobert per l'**epèndim** que el cobreix completament. El filtratge del plasma travessa activament i passivament l'epiteli endimari i, en travessar la cavitat, esdevé **líquid cefalorraquidi** (LCR), juntament amb algun limfòcit que també penetra la cavitat. El flux d'aquest líquid pels quatre ventricles i pel canal central de la medul·la espinal acaba sortint cap a l'espai aracnoide al nivell de la cisterna magna sota el cerebel. Els llocs de sortida són el **forat de Magendie i els de Luschka**, on el teixit nerviós ha desaparegut entre l'epèndima i la **leptomeninge** (piamàter i aracnoide juntes). En aquest punt, l'LCR intern es barreja amb el que circula per l'espai aracnoide. Aquest darrer s'ha produït en l'**espai de Virchow-Robin** (asteriscs en el dibuix anterior), que és el teixit pial pericapil·lar en la profunditat del teixit neural. Finalment, l'LCR aracnoide drena i és transportat cap a l'interior del **sinus longitudinal superior** a través de petits microdiverticles formats per cèl·lules de la barrera aracnoidal que fa protrusió dins la llum del sinus (**granulacions de Pachioni**).



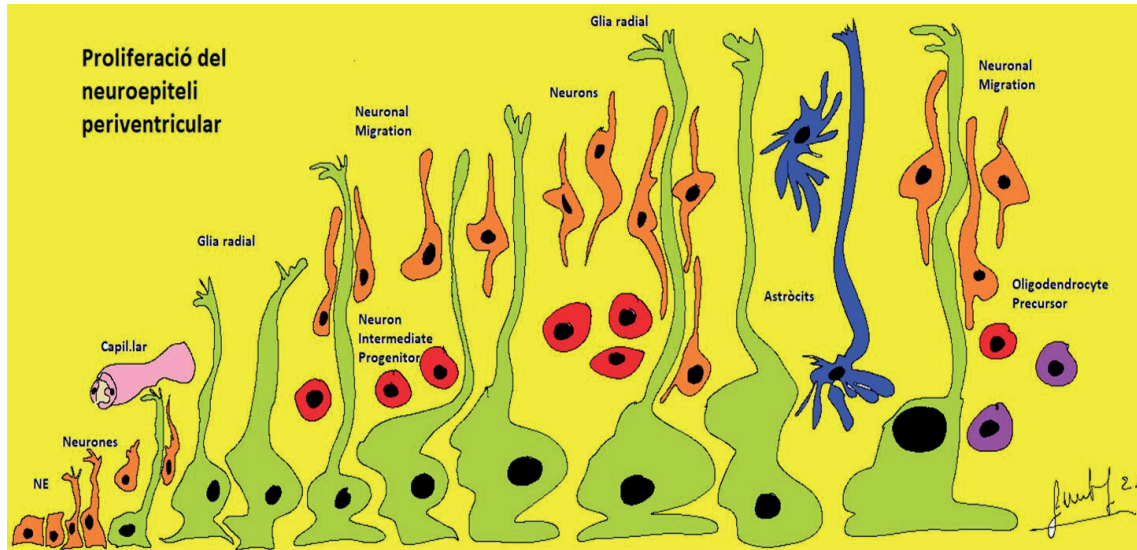
Pissarra 97. Plexes coroidals

Barrera hematoencefàlica

La barrera hematoencefàlica separa les neurones del teixit connectivovascular. Està formada per un endoteli continu, amb amples bandes de zònules oclusives que anul·len l'espai extracel·lular. Tampoc hi ha transport vesicular. Aquesta diferenciació està induïda pels astròcits, que envolten completament els vasos, amb els peus, i els aïllen. Qualsevol molècula o ió que s'hagi d'acostar a la membrana plasmàtica neuronal ho haurà de fer per mitjà del transport regulat a través de les membranes i el citoplasma de les cèl·lules endotelials i els astròcits. A dins de la barrera, i per fora, es poden trobar monòcits identificats com a **micròglia**. En el context d'un procés inflamatori, la barrera pot perdre eficàcia i afavorir l'arribada de leucòcits i mediadors inflamatoris a prop de les neurones. L'espai entre astròcits i cèl·lules endotelials pot allotjar una única membrana basal, i aquest punt és el primer **espai de Virchow-Robin**, on comença a formar-se l'LCR a l'interior del parènquima neural.



Pissarra 98. Barrera hematoencefàlica



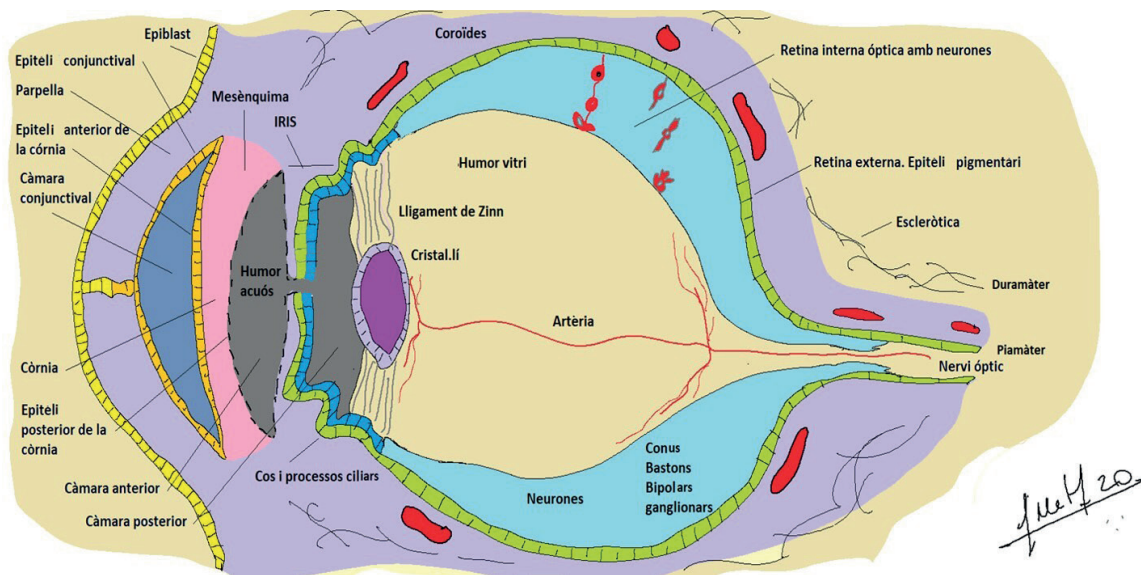
Pissarra 99. Neurogènesi

9. Els òrgans sensitius i sensorials

Vista

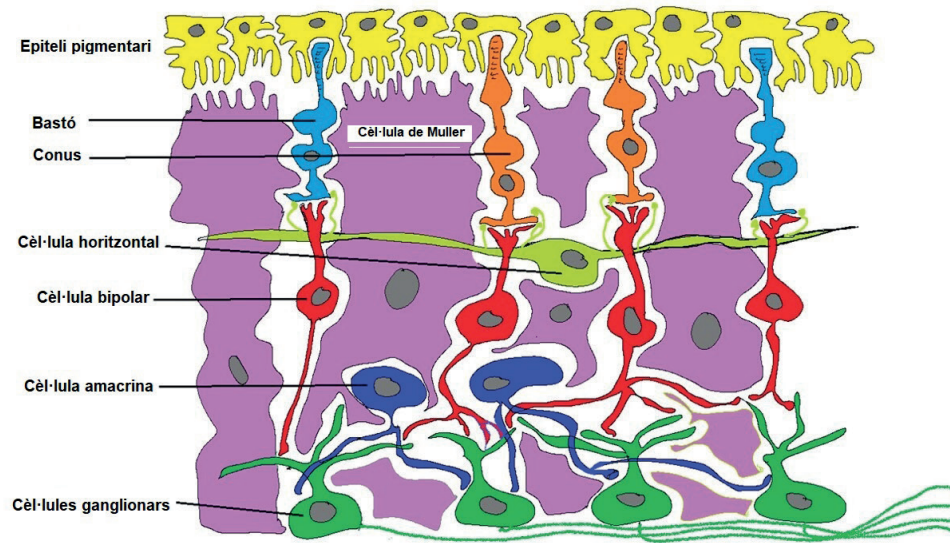
Desenvolupament i parts de l'ull

El **crystal·lí** es forma a partir d'una vesícula derivada de l'epiblast. Les cèl·lules cúbiques de l'epiteli posterior s'allarguen cap a la paret anterior i formen les **fibres cristal·líniques**. Les retines òptiques, ciliar i iriana, prenen forma quan l'epiteli cúbic simple de les **vesícules òptiques** es replega sobre ell mateix i crea una copa de doble paret epitelial (**cúpula òptica**, en blau marí i verd en el dibuix). En la regió posterior de l'ull, la part més externa de l'epiteli doble dona forma a l'**epiteli pigmentari**, mentre que la part més interna genera la **retina òptica**, amb la cadeneta de tres neurones (neurosensorial —conus i bastons—, bipolar i ganglionar) més les neurones integradores horitzontals i amacrines, a banda dels astròcits de Müller. La vora de la cúpula òptica dirigida cap a la regió anterior de l'ull forma la **retina ciliar** no òptica (amb els **cossos ciliars** que donen forma al **múscul ciliar** per a l'acomodació del cristal·lí i els **processos ciliars** per a la formació de l'humor aquós que inundarà les cambres anterior i posterior. La **retina iriana** és la continuació anterior de la ciliar i forma l'**iris** amb els **músculs circular i longitudinal**, que allotjaran la pupila i les cèl·lules pigmentàries.



Pissarra 100. Globus ocular. Desenvolupament

**Retina
Òptica**

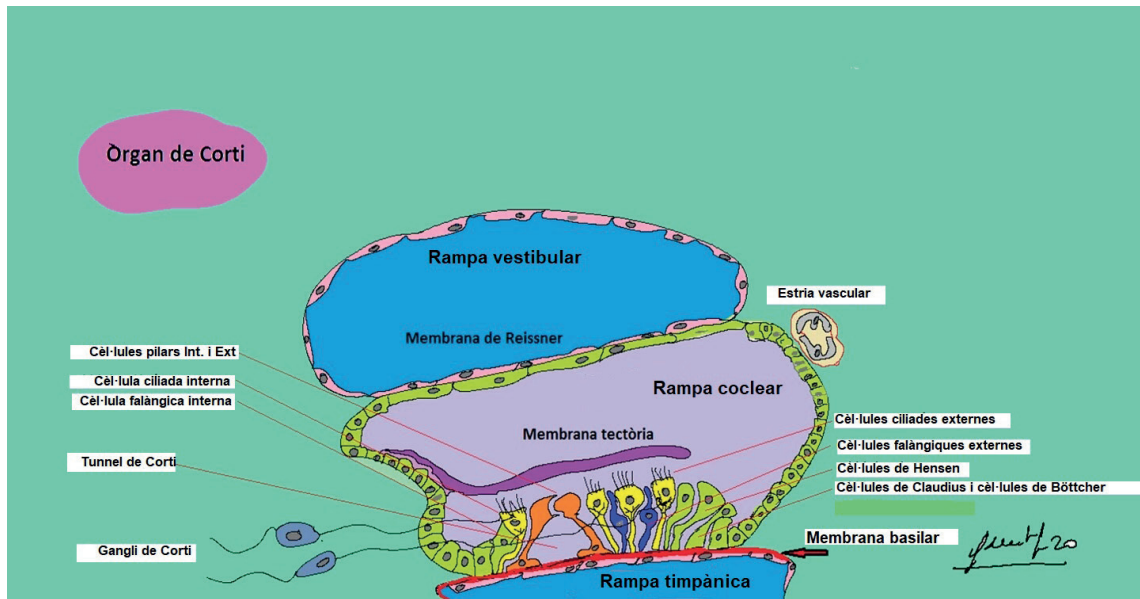


Pissarra 101. Retina

Oïda i equilibri

Oïda

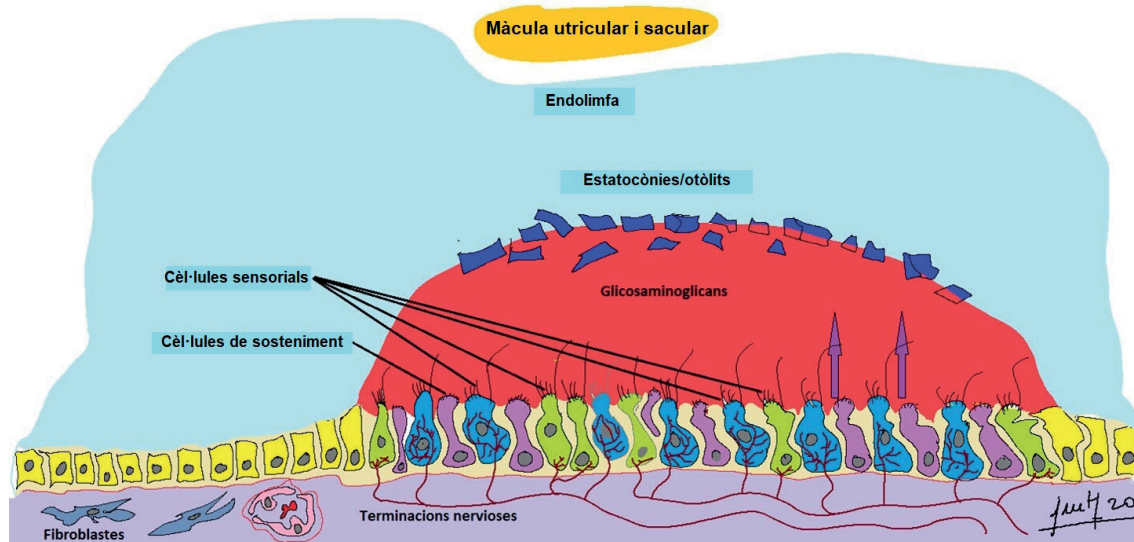
L'òrgan perifèric de l'oïda se situa en la porció coclear (cargol) de l'oïda interna. A un costat del *ductus reuniens* tenim la **còclea auditiva** i, en l'altre, l'òrgan de l'equilibri format per l'**utricle, el sàcul i les ampolles i conductes semicirculars**. L'òrgan coclear és una continuació de l'òrgan vestibular. Està format per un tub amb l'epiteli pla cúbic que conté l'endolimfa i que s'endinsa pel cargol ossi a l'interior de la piràmide petrosa de l'os temporal (**rampa coclear**). Aquest tub té associats, a banda i banda en el recorregut, dos tubs més anomenats **rampa vestibular i timpànica**, que contenen la perilimfa i comuniquen amb el vestíbul de l'oïda interna. Els dos tubs es comuniquen per un petit forat (**helicotrema**) al final del recorregut, per l'interior del cargol, i condueixen les vibracions transmeses pel **timpà** i la cadeneta de tres ossets (**estrep, enclusa i martell**) sobre la membraneta de la **finestra oval** i la perilimfa vestibular. Les vibracions continuen per la rampa vestibular, l'helicotrema i la rampa timpànica per acabar estimulant la membraneta de la **finestra rodona** i dissipant-se en l'oïda mitjana i la trompa d'Eustaqüi que comunica amb l'orofaringe. Les vibracions estimulen el moviment de les cèl·lules ciliades neurosensorials de la rampa coclear que, en despolaritzar-se, generen senyals auditius. En una zona de la rampa coclear també es forma l'endolimfa.



Pissarra 102. Òrgan de Corti

Equilibri

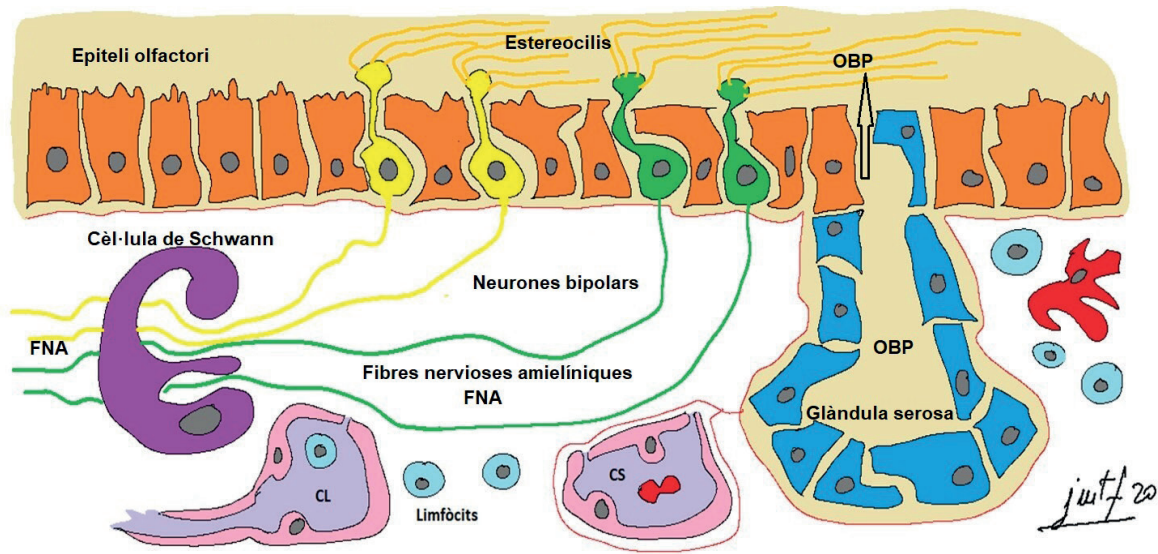
L'òrgan perifèric de l'equilibri se situa en la porció vestibular del laberint en l'oïda interna. A un costat del *ductus reuniens* tenim la còclea auditiva. En l'altre, l'òrgan de l'equilibri format per l'**utricle, el sàcul i les ampolles i els conductes semicirculars**. Tot el laberint membranós està format per un tub epitelial (epiteli pla cúbic) amb una minsa làmina pròpia banyat interiorment per **endolimfa** provinent de la còclea i, la perilimfa per fora, que arriba de l'espai aracnoidal. En el sàcul i utricle es troben petites regions on l'epiteli (semblen taques petites, **màcules**) guanya altura i allotja **cèl·lules sensorials**, amb estereocilis i un cili mòbil (vibràtil) entremig de **cèl·lules de suport** que produeixen una capa de **glicosaminoglicans** damunt de cada màcula. Per sobre de la gelatina de glicosaminoglicans hi suren petits cristallets de carbonat càlcic (**otòlits, estatocònies**). Moviments lents del cap (que determinen la posició del cap en tot moment, **equilibri estàtic**) afavoreixen el moviment de l'endolimfa, la qual cosa permet el desplaçament dels otòlits, de la gelatina i dels estereocilis gràcies a la gravetat, i això comporta la despolarització de les cèl·lules sensorials i la transmissió a les terminacions nervioses del nervi vestibular que innerven les cèl·lules sensorials profusament. Una estructura similar a les màcules la trobem en les **ampolles dels conductes semicirculars**, però en aquest cas el barret de glicosaminoglicans gairebé va a banda i banda de cada ampolleta. Aquí, moviments més dinàmics del cap (seguint un o més dels tres eixos a l'espai), accelera l'endolimfa per dintre dels conductes semicirculars (cadascun paral·lel o en registre amb un dels tres eixos). Així, l'estimulació diferencial de les tres ampolles, tramesa a les cèl·lules neurosensorials i d'aquí a les terminacions del nervi vestibular, proporcionen informació cap al nucli vestibular de la posició del cap, en tot moment, en relació amb la posició del cos (**equilibri dinàmic**).



Pissarra 103. Màcula de l'utricle i el sàcul

Olfacte

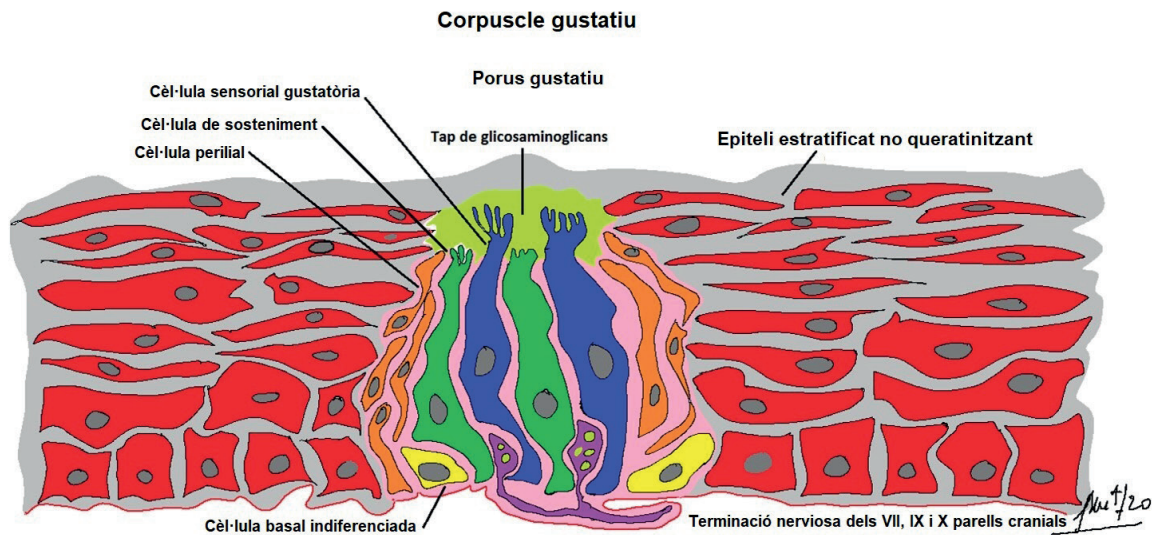
L'**epiteli olfactori** està situat en el sostre de la cavitat nasal i és una diferenciació de l'epiteli respiratori d'aproximadament 2,5 x 2,5 cm. En l'epiteli no trobem cèl·lules caliciformes, i les glàndules són només seroses. El moc dificultaria l'arribada de substàncies odorants. Les cèl·lules seroses de les glàndules produeixen una proteïna (OBP, **odorant binding protein**) que pot fixar odorants, sobretot hidròfugs, i acostar-los a les **neurones bipolars** que es troben entre les cèl·lules epitelials. Tant les cèl·lules epitelials com les neurones es poden regenerar (normalment després d'una infecció local). Les neurones presenten una dendrita amb un bulb terminal que es projecta en la llum de la cavitat i genera **6-8 estereocilis** (9+2) ben llargs (70-150 micròmetres) i agostats que inclouen en la membrana els receptors (molècules de set passos transmembranaris) d'odorants. La prolongació axonal basal de les neurones, juntament amb les d'altres neurones (unes 2×10^6), forma feixos amielínics (uns 20 **fila olfactoria**) que, després de travessar la làmina cribrosa de l'etmoide, es dirigeixen cap al **bulb olfactori**. A les fibres nervioses les acompanyen els capil·lars limfàtics, que sovint són la via d'arribada al sistema nerviós (meninges) de microorganismes (meningococs). Els receptors a odorants són una de les molècules amb més varietat (segurament més de mil), i això evidencia la gran importància de la percepció d'olors. Per cada olor hi ha aproximadament 2.000 neurones amb el mateix receptor. L'axó conflueix sobre les dendrites d'algunes **cèl·lules mitrals** (hi ha unes 30 grans cèl·lules mitrals) en el bulb. El conjunt (2.000 axons més les dendrites associades) forma un cabdell, un embolcall (glomèrul) amb múltiples sinapsis. Hi ha aproximadament mil glomèruls i cadascun processa una olor diferent.



Pissarra 104. Mucosa olfactiva

Gust

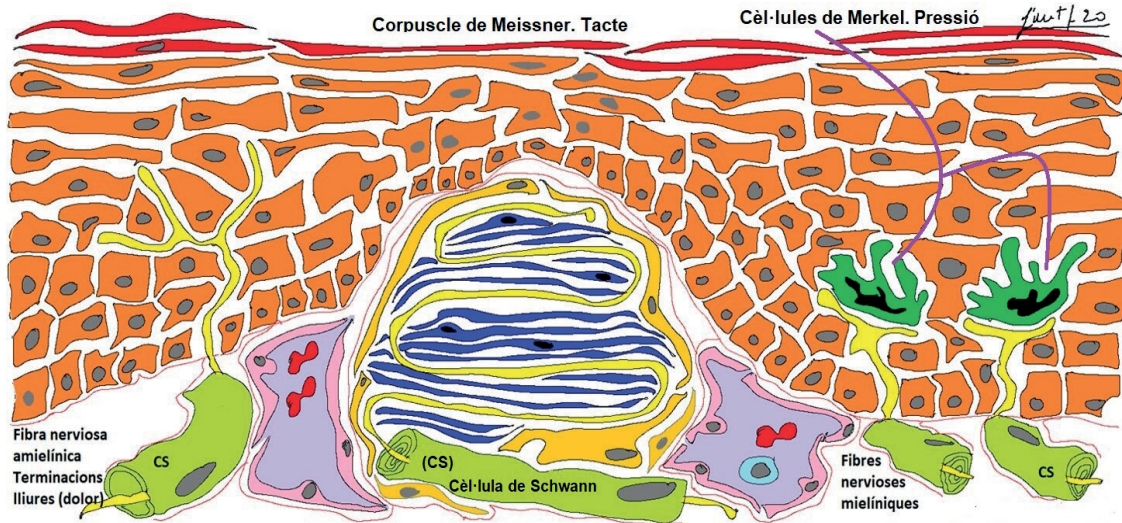
Els **corpuscles gustatius** es troben en la mucosa lingual dins l'epiteli (uns 3.000). Estan formats per 50-90 cèl·lules, i tenen un porus obert en superfície per on accedeixen les substàncies gustatives. Hi ha quatre tipus cel·lulars, el **tipus I** (fosques) són suportives i nodrisses, i formen els glicosaminoglicans que ocupen el porus gustatiu. Les **II** són intermèdies i les **III** són gustatives (clares), mentre que les **IV** són basals indiferenciades i regeneratives perquè totes tenen una vida mitjana de quatre dies. També hi ha cèl·lules de l'epiteli que recobreixen el corpuscle (**cèl·lules peril·lials**). Els corpuscles i les cèl·lules III són innervats per terminacions dels parells cranials VII (facial), IX (glossofaringi) i X (vague), que formen fibres intragemmals i perigemicals. Sembla que algunes cèl·lules III poden respondre a més d'un gust (salat, dolç, àcid, amarg i umami). Els canals iònics i receptors per a les substàncies gustatives es troben en un 1-2% de la membrana de les llargues microvellositats apicals.



Pissarra 105. Corpuscle gustatiu

Tacte

Terminacions i aparells nerviosos exteroceptius epidermics i dèrmics. En l'epidermis i dermis més superficial es localitzen un gran nombre de terminacions nervioses sensibles amb l'origen en neurones pseudomonopolars dels ganglis espinals. Hi ha abundants **terminacions nervioses lliures**, (no encapsulades) a l'interior de l'epidermis, entre els queratinòcits. La majoria provenen de fibres nervioses amielíniques i s'activen amb estímuls dolorosos. A més, hi ha fibres nervioses mielíniques que acaben amb dilatacions (discos terminals) que contacten amb les **cèl·lules de Merkel** dins l'epidermis. Aquestes cèl·lules són ramificades, dendrítiques (com els melanòcits i les cèl·lules de Langerhans de l'epidermis), amb queratina abundant i desmosomes (com els queratinòcits), però amb vesícules que contenen endorfines i VIP (pèptid vasoactiu intestinal). Aquest conjunt detecta estímuls tàctils. En la dermis més superficial, la papil·lar, es troben els **corpuscles de Meissner**. Es tracta de fibres nervioses encapsulades, de 150 micròmetres, que tenen l'origen en fibres mielíniques i que allotgen terminacions nervioses aplanades, llargues i que es desplacen en ziga-zaga entremig de cèl·lules gials extremadament aplanades. El conjunt es comporta com un acordió sensible als canvis de pressió sobre la pell.



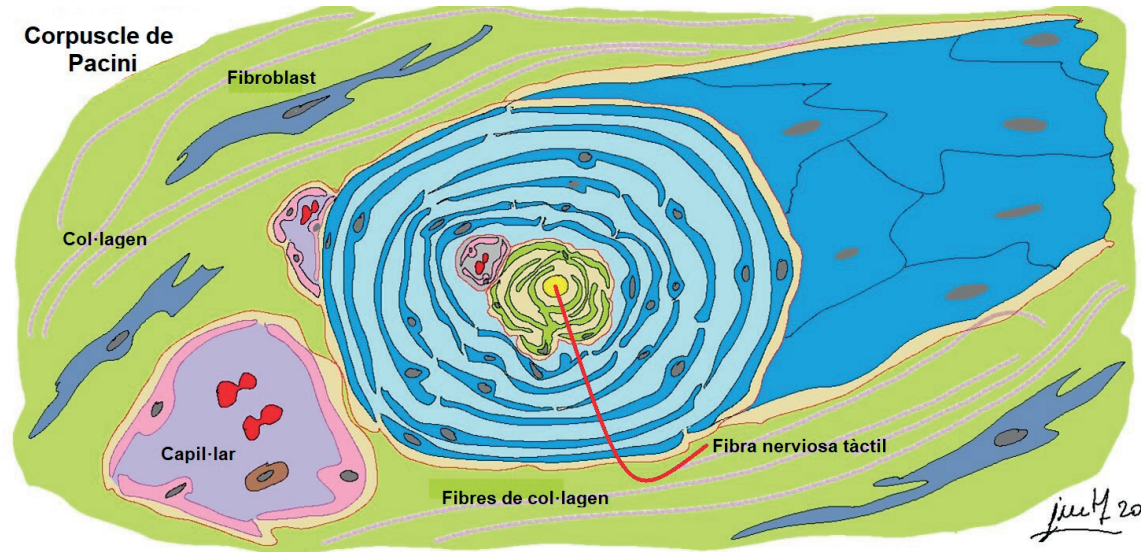
Pissarra 106. Corpuscle de Meissner, terminacions lliures i cèl·lules i discs de Merkel

Corpuscle de Pacini

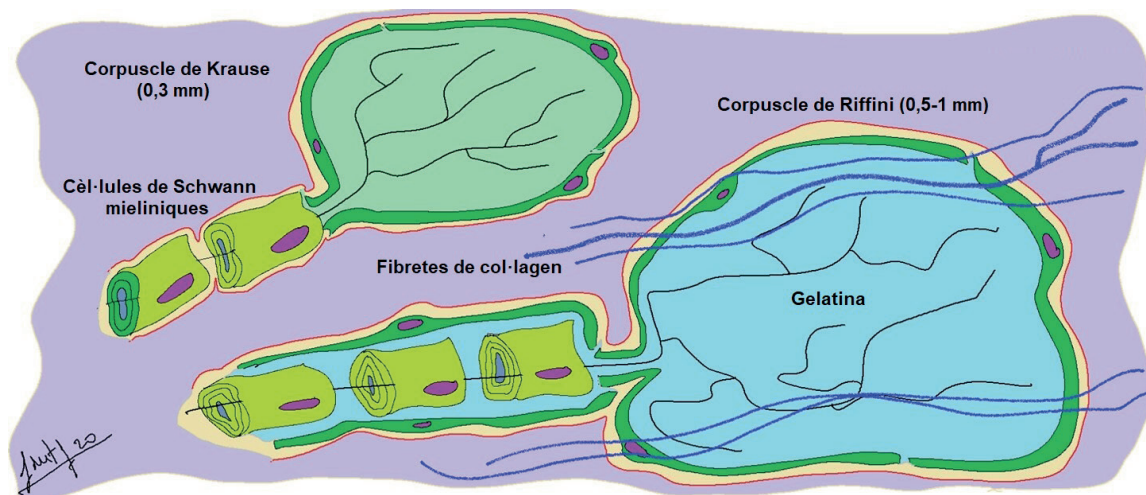
Aquests corpuscles es troben en la dermis més profunda, en la hipodermis i en càpsules de òrgans (periosti, per exemple), i d'aquesta manera també desenvolupen una funcionalitat propioceptiva. Poden mesurar més d'un mil·límetre. La fibra nerviosa és mielínica però les cèl·lules de Schwann deixen de produir mielina aviat, quan entren en el corpuscle i cobreixen amb diverses prolongacions concèntriques l'axó (que funcionalment és una dendrita centrípeta). Per fora, es forma una càpsula de cèl·lules connectives (entre 20-60 capes), ben aplanades, de forma concèntrica, que deixen un espai entre si que conté limfa i algun petit capil·lar. Aquestes terminacions responen a la pressió i a les vibracions.

Corpuscles de Krause i de Ruffini

Els corpuscles de Krause i de Ruffini són els aparells nerviosos sensitius, encapsulats, més senzills. La fibra nerviosa mielínica perd la mielina quan entra en el corpuscle i la terminació nerviosa es ramifica i queda lliure dins l'estructura envoltada per una sola capa de cèl·lules capsulars aplanades i connectives. A l'interior del corpuscle hi ha líquid i, en el cas dels corpuscles de Ruffini, també presenta fibretes col·làgenes que en deformar-se, en resposta a l'estirament del teixit, activen (despolaritzen) la terminació nerviosa. Els corpuscles de Krause responen a canvis de temperatura.



Pissarra 107. Corpuscle de Pacini



Pissarra 108. Corpuscles de Krause i de Ruffini

