

امیر رضا محمدی یکتا

علی صادقی

V1



آی لار افشاری - مریم مصطفوی

پوریا منصوری

دکتر زارع

۳

بافت دندان در سلامت و بیماری

بافت شناسی عاج

ساختار اصلی عاج (Basic structure of dentin)

عاج، قسمت سخت کمپلکس عاج و پالپ است و قسمت عمده ی حجم دندان (bulk of the tooth) را تشکیل می دهد. ماتریکس عاج مشابه استخوان است و توسط گروهی از توبول های عاجی که (dental tubule) در کنار هم قرار گرفته اند. این توبول ها از تمامی ضخامت عاج عبور می کنند و زوائد سیتوپلاسمی odontoblast ها (cytoplasmic extensions of odontoblasts) را در بر می گیرند. زوائد سیتوپلاسمی odontoblast ها، عاج را تشکیل می دهد و سپس مسئولیت حفاظت از آن را بر عهده می گیرند. تنه ی سلول های odontoblast، به صورت یک ردیف در امتداد قسمت داخلی عاج، در مقابل لایه ی predentin قرار گرفته است. این سلول ها، مرز محیطی پالپ دندان را تشکیل می دهند. درمورد لایه های عاجی در ادامه صحبت خواهد شد.

پالپ دندان (pulp)

پالپ دندان، بافت همبند نرمی است که بخش مرکزی دندان را اشغال می کند. فضایی که این بافت همبند اشغال می کند، حفره ی پالپ یا pulp cavity نام دارد. این حفره به ۲ قسمت اصلی تقسیم می شود:

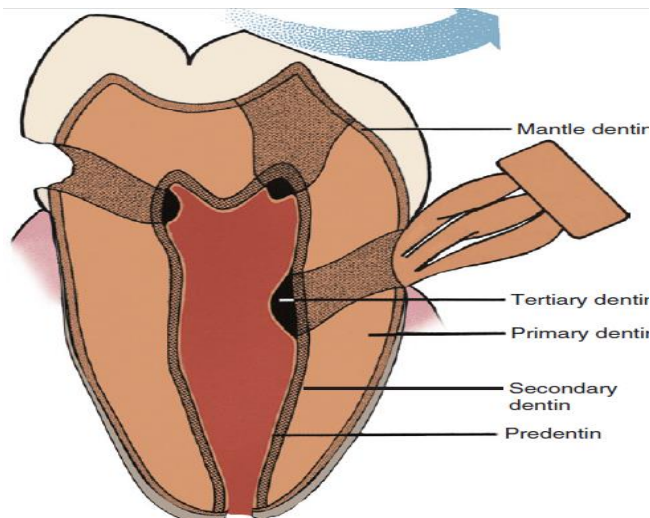
۱. قسمت تاجی یا اتاقک پالپ یا pulp chamber یا coronal portion

۲. قسمت ریشه ای یا کانال ریشه یا root canal یا radicular portion

اتاقک پالپ با نمای کلی تاج آناتومیک مطابقت دارد؛ به نحوی که زیر کاسپ ها به صورت شاخک های پالپ امتداد میابد.

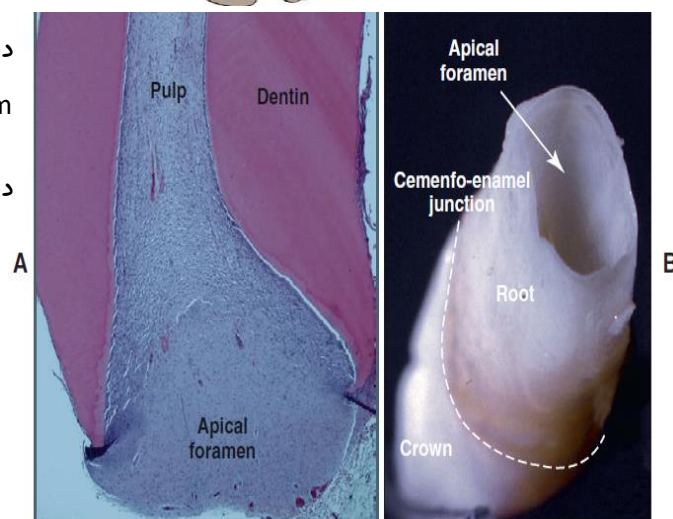
کانال ریشه ای یا root canal که در دندان های چند ریشه ای "سیستم کانالی ریشه" (root canal system) نامیده می شود، به سوراخ رأسی یا apical foramen خاتمه می یابد. از طریق سوراخ رأسی (apical foramen)، عروق و اعصاب وارد دندان شده و یا از آن خارج می شوند. این سوراخ محلی است که پالپ و لیگامان پریودنتال (PDL) به هم مرتبط می شوند.

در این شکل می توان شکل کلی دندان و لایه های مختلف عاجی را مشاهده کرد.



در شکل A؛ dentin، apical foramen، pulp و محل اتصال enamel و cementum (cementoenamel junction) دیده می شود.

در شکل B؛ شکل کلی دندان را می توان مشاهده کرد.



در دندان های در حال تکامل، سوراخ های رأسی، بسیار بزرگ (wide) است و در مرکز قرار دارد. اما در دندانی که به طور کامل در حال رشد کردن است، قطر سوراخ رأسی کوچک شده و از نظر موقعیت، خارج از مرکز قرار می گیرد. اندازه ی سوراخ رأسی در محدوده ی بین ۰/۳ تا ۰/۶ (در اسلاید ۵/۰ تا ۷۵/۰ گفته شده 😊) میلی متر متغیر است. اگر در ریشه ای، بیش از یک سوراخ رأسی وجود داشته باشد، بزرگترین آن به عنوان سوراخ رأسی و بقیه به عنوان سوراخ های فرعی (accessory foramina) در نظر گرفته می شوند.

در طول سطح کناری ریشه، از طریق کانال های جانبی یا lateral canals، ارتباطی بین بافت پریودنتال و pulp ایجاد می شود؛ این کانال ها احتمالاً حاوی رگ های خونی نیز می باشند.

ترکیب، تشکیل و ساختار عاج

یک عاج بالغ، از نظر وزنی از ۷۰٪ مواد معدنی (inorganic material)، ۲۰٪ مواد آلی (organic material) و ۱۰٪ آب تشکیل شده است. جزء معدنی عاج عمدتاً حاوی کریستال های هیدروکسی آپاتیت (hydroxyapatite) است که به صورت صفحات کوچکی شکل گرفته اند. جزء آلی عاج، حاوی ۹۰٪ الیاف کلاژن (که عمدتاً از نوع ۱ و مقادیر کمی از نوع ۳ و ۵ هستند) به همراه بخش هایی از پروتئین های ماتریکس غیر کلاژنه و لیپید ها می باشد.

در مطالعات بسیاری نشان داده شده است که پروتئین های ماتریکس استخوان در عاج نیز وجود دارند. پروتئین های ماتریکس غیرکلاژنه، در فضای بین رشته های کلاژن متراکم شده و پیرامون توبول های عاجی انباشته می شوند.

ترکیبات پروتئین های ماتریکس غیر کلاژنه: (موارد ۱-۴ گفته شده؛ موارد ۵-۱۱ در پاورپوینت)

1. dentin phosphoprotein /phosphophoryn (DPP) (فسفو پروتئین عاج)
2. dentin sialoprotein (DSP) (سیالوپروتئین عاج)
3. dentin glycoprotein (DGP) (گلیکوپروتئین عاج)
4. dentin matrix protein-1 (DMP1), (ماتریکس پروتئین ۱ عاج)
5. Osteonectin secreted protein acidic and rich in cysteine (استئونکتین که پروتئین اسیدی ترشچی و غنی از سیستئین است)
6. osteocalcin (استئوکلسین)
7. bone sialoprotein (BSP) (سیالوپروتئین استخوانی)
8. osteopontin (استئوپونتین)
9. matrix extracellular phosphoglycoprotein (فسفو گلیکوپروتئین ماتریکس خارج سلولی)
10. proteoglycans (پروتئوگلیکان)
11. some serum proteins (مقداری از پروتئین های سرم)

عاج به طور جزئی سخت تر از استخوان و نرم تر از مینا است. این اختلاف را می توان به وضوح در نماهای رادیوگرافی مشاهده کرد؛ به طوری که در عکس های رادیوگرافی، عاج radiolucent (تیره) تر از مینا و radiopaque (روشن) تر از پالپ به نظر می رسد.

عاج از نظر فیزیکی، دارای خاصیت الاستیسیته (elasticity) است. این خاصیت به دلیل شکننده بودن مینا، برای عملکرد مناسب دندان اهمیت دارد. خاصیت elasticity سبب انعطاف پذیری شده و از شکستن لایه ی رویی که مینای شکننده است، جلوگیری می کند. محل اتصال محکم enamel و dentin (dentinoenamel junction)، به صورت scalloped border است و حاشیه ای کنگره دار دارد.

در ریشه ی دندان، عاج با سمان پوشیده شده است. اتصال بین این دو بافت خیلی مشخص نیست؛ زیرا این دو بافت در هم آمیخته شده که در نتیجه، آن اتصال مشخصی که در dentinoenamel junction وجود دارد، در این ناحیه دیده نمی شود.

طبقه بندی لایه های عاج بر اساس زمان تشکیل آن ها

۱. primary dentin (دنتین اولیه)
۲. secondary dentin (دنتین ثانویه)
۳. tertiary dentin (دنتین ثالثیه)

predentin یا پیش عاج، اولین لایه ای از ماتریکس غیرمینرالیزه است که تشکیل می شود؛ ضخامتی بین ۵۰-۱۰ میکرومتر دارد و در داخلی ترین قسمت (پالپال یا pulpal) قرار می گیرد. پیش عاج به طور عمده حاوی الیاف کلاژن بوده و مشابه استئوئید (osteoid) استخوان است. این دو، به راحتی توسط رنگ آمیزی همتوکسیلین قابل افتراق هستند؛ چون استئوئید نسبت به پیش عاج، بسیار کم تر رنگ می گیرد. البته پیش عاج نسبت به دنتین مینرالیزه، کمتر رنگ می گیرد.

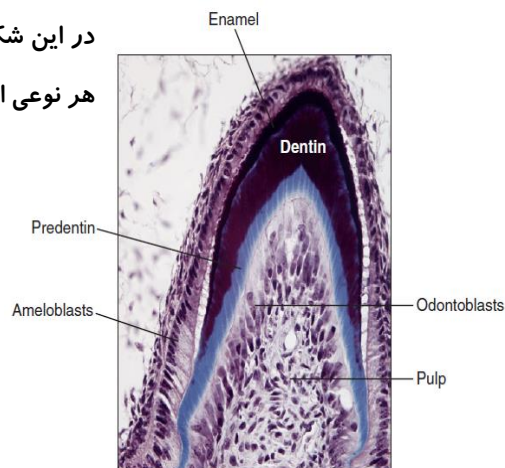
پیش عاج به تدریج توسط پروتئین های غیرکلاژنه ی ماتریکس به عاج مینرالیزه تبدیل می شود؛ این فرایند در "ناحیه ی مینرالیزاسیون" یا "mineralization zone" انجام می گیرد. ضخامت پیش عاج ثابت باقی می ماند؛ زیرا میزان مواد کلسیفیه توسط رسوب ماتریکس غیرمینرالیزه ی جدید به تعادل می رسد. هنگامی که عاج سازی به شکل فعال صورت می گیرد، پیش عاج حداکثر ضخامت خود را دارد؛ با گذشت زمان، از ضخامت پیش عاج کاسته می شود.

عاج اولیه (Primary dentin)

اولین لایه ی عاج می باشد. بیشتر دندان ها از عاج اولیه یا primary dentin تشکیل شده اند. این عاج، حد خارجی اتاقک پالپ (pulp chamber) را تشکیل می دهد و به عنوان عاج اطراف پالپ یا circumpulpal dentin شناخته می شود. خارجی ترین لایه ی عاج اولیه که مجاور سمان و مینا است از بقیه ی قسمت های این لایه ی عاج (عاج اولیه) متفاوت است. تفاوت آن از لحاظ نحوه ی معدنی شدن و نسبت بین اجزای ماتریکس کلاژنه و غیرکلاژنه است؛ بنابراین برای آن اسمی جدا در نظر گرفته شده و به آن "عاج پوششی" یا "mantle dentin" می گویند؛ در واقع از این اصطلاح به منظور اشاره به خارجی ترین لایه ی عاج در قسمت تاجی استفاده می شود.

Mantle dentin به طور کلی به خارجی ترین لایه ی coronal dentin نسبت داده می شود.

در این شکل، نواحی predentin آبی رنگ نمایش داده شده است و نشان گر این است که برای تشکیل هر نوعی از عاج، اول باید یک پیش عاج یا predentin تشکیل شود.



عاج ثانویه (Secondary dentin)

عاج ثانویه پس از اتمام شکل گیری ریشه به وجود می آید. عاج ثانویه با سرعتی بسیار کمتر (کندتر)، توسط همان odontoblast هایی که عاج اولیه را ایجاد می کنند، تشکیل می شود. این عاج ساختار توبولار دارد که کمی نامنظم است و در بیشتر قسمت ها در امتداد عاج اولیه قرار می گیرد.

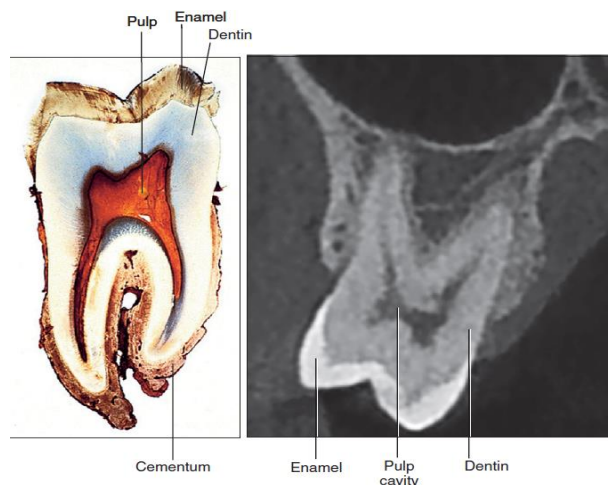
عاج ثانویه از نظر مقدار مواد معدنی و آلی مشابه عاج اولیه است. عاج ثانویه، به خصوص در رابطه با دندان های molar، به میزان یکسانی در اطراف اتاقک پالپ رسوب نمی کند؛ به طوری که دیده شده در سقف و کف حفره ی پالپ، عاج ثانویه ی بیشتری وجود دارد که این موضوع حفره ی پالپ را از لحاظ اندازه و شکل به صورتی غیرقرینه تغییر می دهد؛ به این تغییرات در فضای پالپ، "pulp recession" گفته می شود.

این شکل؛ عاج اولیه، عاج ثانویه و pre-dentin را نشان می دهد که به ترتیب از فضای پالپ که سلول های پالپی را می توان دید، اول pre-dentin، بعد عاج اولیه (فلش های مشکی نشان گر تغییر عاج اولیه به ثانویه هستند) و در آخر عاج ثانویه که نظم کمتری دارد را می توان تشخیص داد.



توبول های عاج ثانویه نسبت به توبول های عاج اولیه راحت تر اسکروزه (sclerose) می شوند؛ این خاصیت سبب کاهش نفوذپذیری عاج و در نتیجه محافظت از پالپ می شود.

رسوب عاج ثانویه در سقف و کف حفره ی پالپ بسیار بیشتر از نواحی دیگر است.



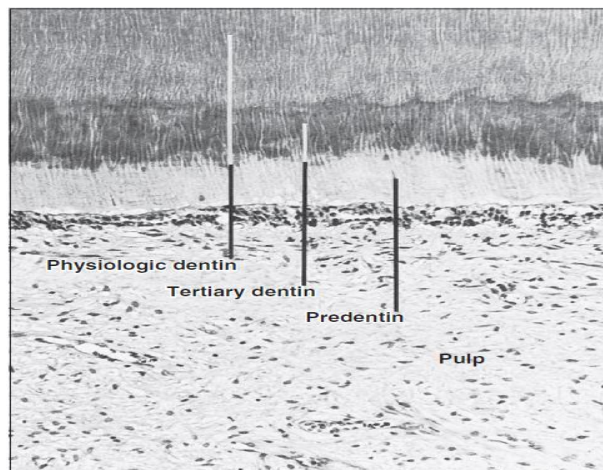
عاج ثالثیه (Tertiary dentin)

به عاج ثالثیه، عاج "تحریکی" یا "ترمیمی" (reactive or reparative dentin) نیز می گویند که در واکنش به تحریکات مضر؛ مثل، پوسیدگی (caries)، سایش (attrition) و اعمال ترمیمی (restorative dental procedures) ایجاد می شود. برخلاف عاج اولیه و ثانویه، در تمام طول لبه ی عاج، پالپ تشکیل می شود. این عاج فقط توسط odontoblast هایی که مستقیماً از عامل محرک متأثر شده اند، ساخته

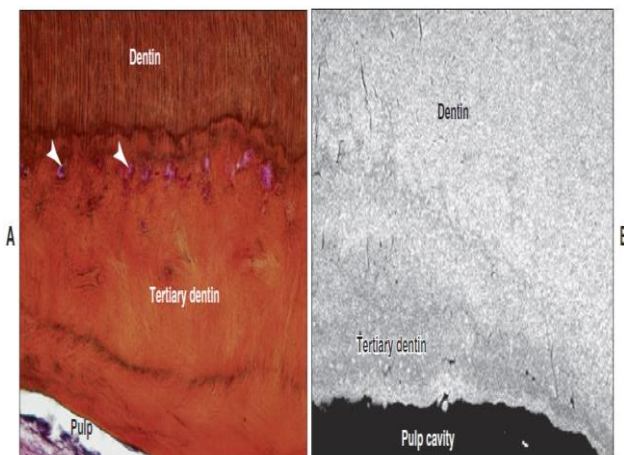
می شوند. کیفیت و مقدار عاج ثالثیه ای که تشکیل می شود به ۲ عامل بستگی دارد: ۱- شدت (intensity) تحریک ۲- طول مدت (duration) تحریک ها

توبول های عاج ثالثیه نسبت به عاج ثانویه، نامنظم تر و کمتر هستند و سازمان دهی آن ها طوری است که در بعضی از مناطق فاقد توبول هستند. سلول های تشکیل دهنده عاج ثالثیه در سطح عاج یا داخل عاج قرار می گیرند؛ برخلاف عاج اولیه و عاج ثانویه که سلول ها تمایل داشتند به سمت پالپ عقب نشینی کنند. چون این سلول ها داخل عاج باقی می مانند، شبیه به استئودنتین می شوند. عاج ثالثیه به دو نوع واکنشی یا reactionary (توسط ادنتوبلاست هایی که از قبل وجود دارند، ساخته می شود) و ترمیمی یا reparative (توسط سلول های شبه ادنتوبلاستی که به تازگی در همان محل به وجود آمده اند، ساخته می شود) وجود دارد. عاج ثالثیه در مناطق مشخص و در پاسخ به صدمات به وجود می آید. سرعت تجمع عاج به شدت صدمه بستگی دارد. هرچه که آسیب شدید تر باشد، عاج با سرعت بیشتری تجمع پیدا می کند. در نتیجه این تجمع سریع، اغلب ادنتوبلاست ها در ماتریکسی که به تازگی تشکیل شده، به دام می افتند و به همین خاطر، طرح توبولار عاج از بین می رود و ظاهری بد شکل به خودش می گیرد. علاوه بر ساختار ویژه این نوع عاج، ترکیب عاج ثالثیه نیز خاص است. دیده شده که تولید BSP و استئوپونتین افزایش پیدا می کند، در حالی که تولید کلاژن، DSP، DMP1 کاهش پیدا می کند.

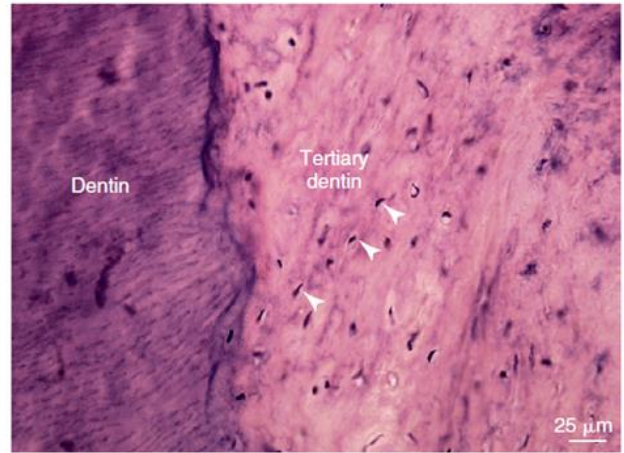
در عاج ثالثیه، توبول ها نامنظم ترند و بقایای سلولی داخل عاج وجود ندارد. احتمالاً این عاج به آرامی و در پاسخ به تحریکات ملایم رسوب کرده و سلول ها زمان کافی داشتند که سمت پالپ عقب نشینی کنند.



عاج ثالثیه را نشان می دهد که بقایای سلولی داخل عاج وجود دارد. به خاطر سرعت زیاد تشکیل عاج، سلول ها زمان کافی برای عقب نشینی به سمت پالپ را نداشتند. در شکل، در بالای عاج ثالثیه، یک دنتین نرمال با توبول های منظم را مشاهده می کنیم.



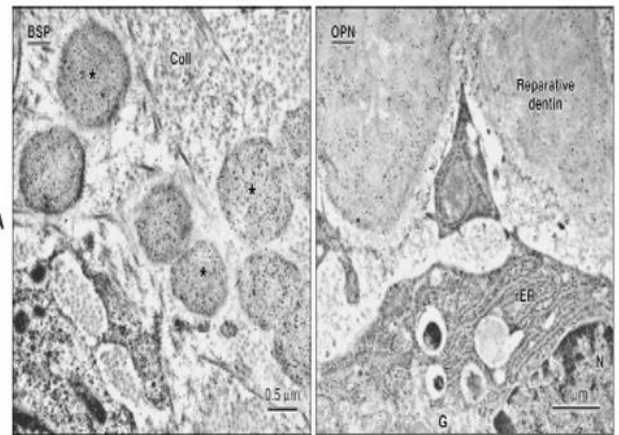
عاج ثالثیه همراه با بقایای سلولی



این شکل، مقایسه محتوای مواد عاج ثالثیه است.

در شکل A: توده های گلوبولار هستند که بینشان الیاف کلاژن وجود دارد. (Coll)

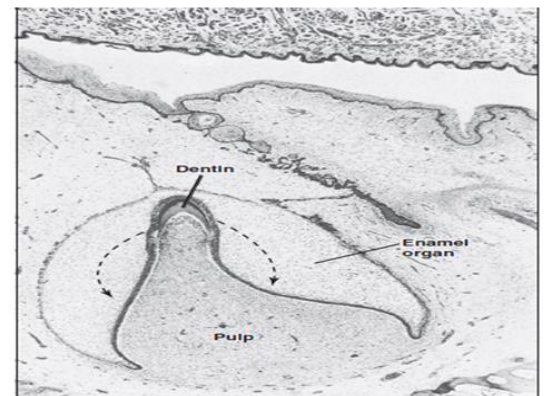
در شکل B: توده های گلوبولار به هم متصل می شوند و توده بزرگی از ماتریکس معدنی را ایجاد می کند.



الگوی تشکیل عاج (pattern of dentin formation)

در مرحله زنگوله ای (bell stage)، در بافت پاپیلاری مجاور inner enamel epithelium آغاز می شود. بر روی دامنه کاسپ ها و به سمت پایین تا cervical loop ادامه پیدا می کند. در دندان های چند کاسپی، تشکیل عاج به طور مستقل در نوک کاسپ های آینده شروع می شود و در دامنه کاسپ ها گسترش پیدا می کند. این گسترش تا زمان اتصال به مراکز تشکیل دهنده مجاور، ادامه پیدا می کند تا یک کاسپ به کاسپ کناری متصل شود. تا زمانی که عاج تاج به طور کامل تشکیل شود، به ضخامت عاج مرتب افزوده می شود.

این شکل، تشکیل عاج را نشان می دهد که در مرحله بل استیج است. تشکیل عاج از نوک inner enamel epithelium شروع می شود و به دامنه ها گسترش پیدا می کند.



نحوه تشکیل عاج ریشه ای (Root dentin)

در تشکیل عاج ریشه ای و عاج تاجی، باید یک قسمت اپیتلیالی وجود داشته باشد. در عاج تاجی، جز اپیتلیالی، inner enamel epithelium بود. در عاج ریشه ای، قسمت اپیتلیالی، Hertwig's epithelial root sheath است. وقتی این غلاف اپیتلیالی تکثیر می شود، باعث تمایز ادنتوبلاست های ریشه می شود. تشکیل ریشه سریع تر از جوانه زدن دندان ها اتفاق می افتد؛ به طوری که وقتی دندان ها در دهان ظاهر می شوند، دو سوم عاج ریشه تشکیل شده است. اما تکمیل شکل گیری عاج ریشه، در دندان های شیری، ۱۸ ماه و در دندان های دائمی، ۲ تا ۳ سال پس از رویش دندان است؛ به همین خاطر دندان ها در این مدت دارای apex باز هستند و عمل عصب کشی را با دشواری مواجه می کنند.

سرعت تشکیل عاج نه تنها در یک دندان، بلکه در دندان های مختلف متفاوت است. تشکیل عاج در تمام طول عمر وجود دارد، به همین علت، کاهش تدریجی و پیش رونده اندازه ی حفره پالپ وجود دارد.

تمایز ادنتوبلاست ها با سیگنال های مولکولی و فاکتور های رشد اتفاق می افتد.

پاپیلای دندانی، ارگان سازنده ای است که ابتدا عاج و در نهایت پالپ دندان را تشکیل می دهد. سلول های اکتو مزانشیم تمایز نیافته پاپیلای دندانی، توسط فاکتور های که از inner enamel epithelium ترشح می شود، به ادنتوبلاست ها تمایز پیدا می کنند و به محض آغاز تشکیل عاج، پاپیلای دندانی به عنوان پالپ دندانی شناخته می شود.

همیشه ابتدا عاج سازی و سپس مینا سازی وجود دارد. تنها اقدامی که قبل از عاج سازی در سلول های آمینوبلاست اتفاق می افتد، قطبیت معکوس (reverse polarity) است. در این زمان، بین سلول های آمینوبلاست و بافت پالپ آینده، یک ناحیه بدون سلول، به نام ناحیه acellular zone وجود دارد که با عاج سازی، این ناحیه کم کم از بین می رود. سلول های اکتو مزانشیم تمایز نیافته که در dental papilla وجود دارند، کوچک هستند، تمایز نیافته هستند، هسته مرکزی دارند، ارگانل های کمی دارند و الیاف کلاژن ظرفی دارند. این سلول ها، کم کم توسط فاکتور هایی که از inner enamel epithelium ترشح می شود، تمایز پیدا می کنند و تبدیل به preodontoblast می شوند. در حین این تغییر، به سرعت بزرگ می شوند، حجم سیتوپلاسم آن ها زیاد می شود، ارگانل های سنتز کننده پروتئین در آن ها افزایش می یابد و ناحیه acellular zone کم کم از بین می رود. سلول های تمایز یافته، که در حقیقت ادنتوبلاست های آینده هستند، مقدار زیادی پلاریزه می شوند. سلولی که پلاریزه می شود، هسته اش دور از inner enamel epithelium قرار می گیرد.

The dental papilla cells	Ectomesenchymal cells adjoining the acellular
• small • Undifferentiated • central nucleus • few organelles • separated from the inner enamel epithelium by an acellular zone • fine collagen fibrils • immediately after cells of the inner enamel epithelium reverse polarity	• preodontoblast • rapidly enlarge • elongate • odontoblasts • cytoplasm increases • increasing protein-synthesizing organelles • acellular zone eliminated • highly polarized, nuclei away from the inner enamel epithelium

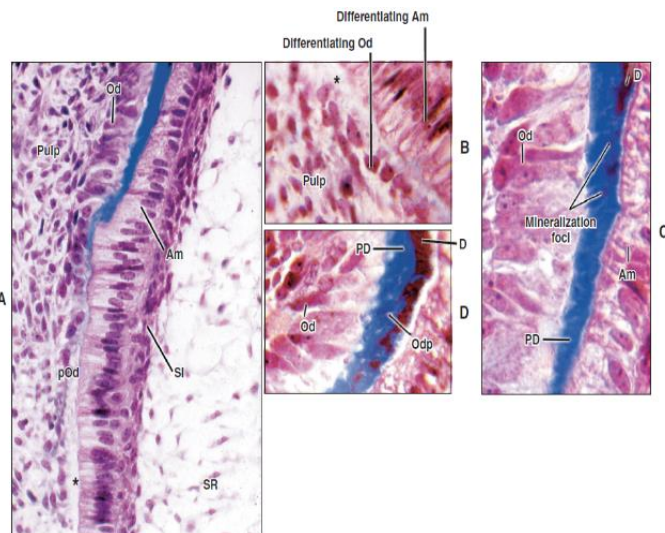
تشکیل عاج

برای تشکیل هر نوع عاج، باید ابتدا یک predentin تشکیل شود و سپس به تدریج این predentin، معدنی شود. اولین عاجی که تشکیل می شود، عاج اولیه است. اولین لایه عاج اولیه، که از نظر بعضی از خصوصیات با عاج اولیه متفاوت است، mantle dentin می باشد. پس از تمایز ادنتوبلاست ها، مرحله ی بعدی در تشکیل عاج، تشکیل ماتریکس آلی است. ادنتوبلاست ها در ماده بنیادی که از قبل در پاپیلای دندانی موجود بوده، تمایز پیدا می کنند؛ سپس اولین رشته های کلاژن را می سازند که این رشته های کلاژن، در ماده معدنی تجمع می کنند. اولین نشانه ساخته شدن عاج، ظهور رشته های منفرد و قطور کلاژن است که بین ۰/۱ تا ۰/۲ میکرومتر ضخامت دارند که به آن ها von korff's fibers می گویند.

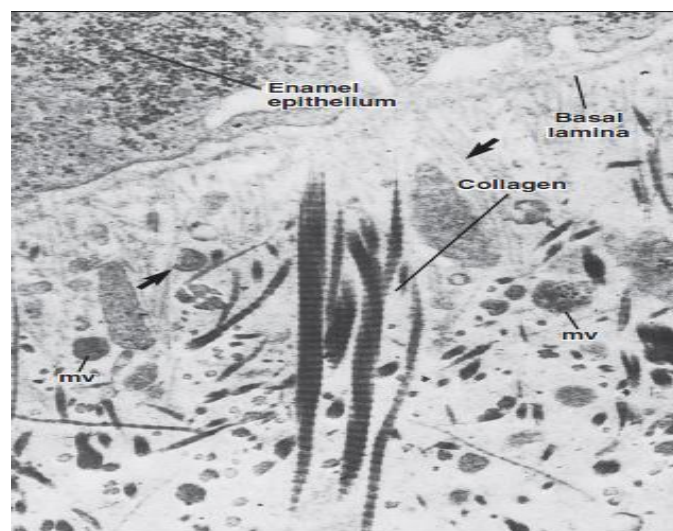
van korff's fibers حاوی کلاژن تایپ ۳ به همراه فیبرونکتین هستند. تولید van korff's fibers از میان ادنتوبلاست ها آغاز می شود و به سمت inner enamel epithelium ادامه پیدا می کند تا در ماده زمینه ای بدون ساختاری که زیر اپیتلیوم وجود دارد، پخش شوند. همزمان با افزایش اندازه ادنتوبلاست ها، این ادنتوبلاست ها، یک رشته دیگر می سازند که از جنس کلاژن تایپ ۱ است؛ اما این کلاژن سازی، از این جهت که موازی اتصال عاج و مینا جهت گیری می کند، برخلاف van korff's fibers که عمود بر اتصال عاج و مینا شکل گیری می کنند، متفاوت است. به این طریق، لایه از پیش عاج پوششی تشکیل می شود. همزمان با رسوب کلاژن، از غشای پلاسمایی ادنتوبلاست هایی که مجاور inner enamel epithelium هستند، یک سری زوائد ریز و کلفت به وجود می آید که این زوائد به ماتریکس خارج سلولی در حال تشکیل گسترش پیدا می کنند.

تغییرات پاپیلائی دندان در آغاز تشکیل عاج:

در قسمت A، در سمت راست تصویر، SR، SI و آمینوبلاست‌هایی را می‌بینیم که قطبیت معکوس پیدا کرده‌اند؛ یعنی هسته آن‌ها دور از غشای پایه قرار گرفته است. در سمت چپ شکل A، قسمتی که با * نشان داده شده است، clear zone را نشان می‌دهد که قبل از عاج‌سازی، یک منطقه بدون سلول را تشکیل می‌دهد. ادنتوبلاست‌ها در کنار clear zone، تمایز نیافته، کوچک، بدون ارگانل و یا همراه با ارگانل‌های کمی هستند. در قسمت بالاتر، ادنتوبلاست‌ها تمایز یافته‌اند، طولی شده‌اند، ارگانل‌های آن‌ها زیاد شده است و این سلول‌ها، پلاریزه شده‌اند؛ یعنی هسته آن‌ها به غشای پایه نزدیک شده و از سلول‌های آمینوبلاست دور شده است. لایه آبی رنگ predentin را نشان می‌دهد. در شکل B، با بزرگ‌نمایی بیشتر تمایز ادنتوبلاست‌ها و آمینوبلاست‌ها را نشان می‌دهد. در قسمت D، در قسمت آبی یک سری نواحی قرمز رنگ دیده می‌شود که در واقع predentin به عاج معدنی در حال تبدیل است. در شکل C، با بزرگ‌نمایی بیشتر پلاریزه شدن ادنتوبلاست‌ها را نشان می‌دهد.

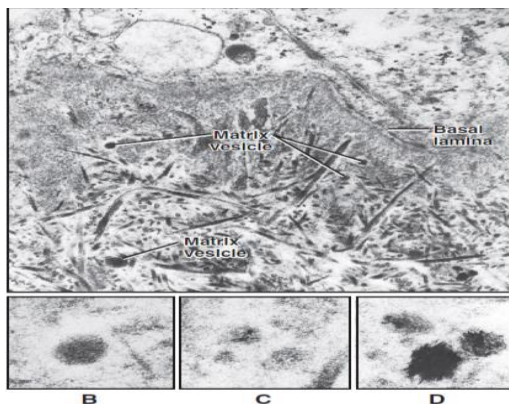


تصویر میکروسکوپ الکترونی: اولین رشته‌های کلاژنی که در تشکیل predentin دخالت دارند، الیاف قطور و عمود بر تیغه پایه von korff's هستند.

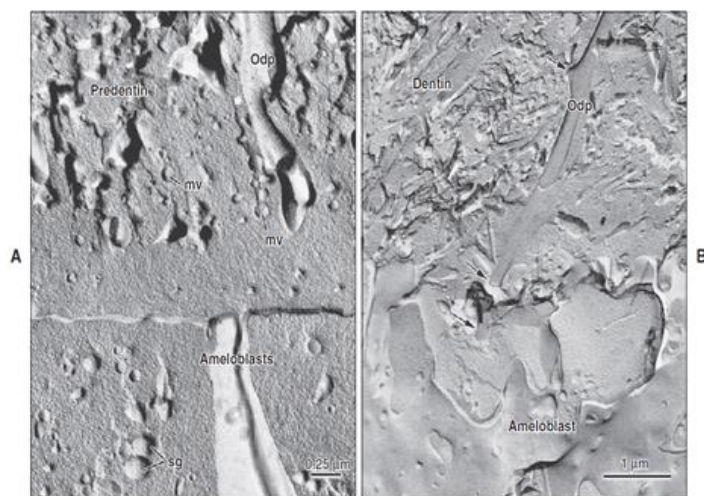
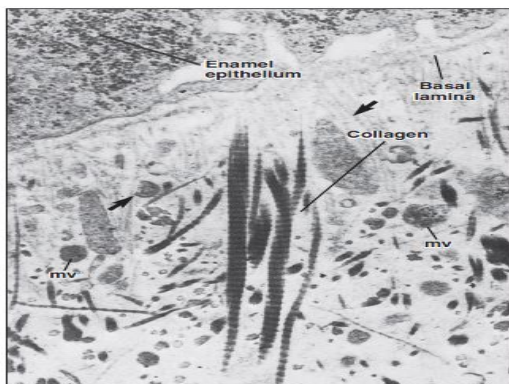


از غشای پلاسمایی ادنتوبلاست‌ها، زوائد ریز و کلفتی ایجاد می‌شود. گاهی اوقات یکی از این زوائد، تیغه پایه را سوراخ می‌کند و خودش را بین سلول‌های اپیتلیوم مینای داخلی (inner enamel epithelium) جای می‌دهد. به زوائدی که بین سلول‌های inner enamel epithelium نفوذ کرده‌اند، enamel spindle گفته می‌شود. همزمان با تشکیل این زوائد، یک سری وزیکول‌های کوچک و غشا دار به نام matrix vesicles جوانه می‌زند و در قسمت فوقانی ادنتوبلاست‌ها، مجاور تیغه پایه قرار می‌گیرد. تشکیل matrix vesicles، اولین مرحله معدنی شدن predentin است.

تصویر A، شکلی از میکروسکوپ الکترونی از تشکیل عاج در جسم دندانی در اواخر bell stage را نشان می دهد. می بینیم که matrix vesicles در بین رشته های کلاژن قرار گرفته اند و معدنی شدن اولیه ماتریکس عاج در این اجسام شروع می شود. در شکل B، C و D، می بینیم که در این وزیکول ها، کریستال های آپاتیت در حال رشد و بزرگ شدن هستند



کنار الیاف von korff's، وزیکول های ماتریکس (mv) را داریم که معدنی شدن در آن ها، آغاز شده است.



همزمان با حرکت ادنتوبلاست ها به سمت پالپ، زواید سلولی آن ها، که به آن ها زواید ادنتوبلاستی یا Tomes' fiber می گویند، ایجاد می شوند؛ یعنی ادنتوبلاست ها عاج سازی می کنند و به سمت پالپ حرکت می کنند که این عمل باعث ایجاد Tomes' fiber می شود.

فاز معدنی شدن (mineral phase)

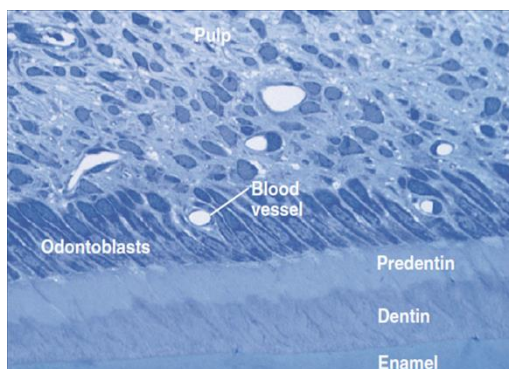
در ابتدا، فاز معدنی شدن به صورت کریستال های هیدروکسی آپاتیت منفردی است که درون matrix vesicles هستند. کم کم این کریستال ها، به سرعت رشد می کنند و از شکل وزیکول خارج می شوند و به شکل خوشه ای از کریستال ها گسترش پیدا می کنند. خوشه های مجاور هم به یکدیگر متصل می شوند و لایه ای از ماتریکس معدنی را ایجاد می کنند. رسوب ماتریکس معدنی، پس از تشکیل ماتریکس آلی است.

پس همیشه لایه ای از ماتریکس آلی، به نام پیش عاج بین ادنتوبلاست ها و قسمت معدنی شده یافت می شود. پروتئین های ماتریکس غیر کلاژنه توسط odontoblast ها تولید می شوند و رسوب مواد معدنی را تنظیم می کنند، بنابراین یک عاج پوششی به قطر ۱۵ تا ۲۰ میکرومتر ایجاد می کنند که اولین لایه ی عاج اولیه است.

اهمیت خون رسانی در طی فاز ترشحي بافت سخت دندانی

هنگام شروع تشکیل عاج بافت پوششی، مجاور لایه ای از odontoblast ها که به تازگی تمایز پیدا کرده اند، مویرگ هایی دیده می شوند. هنگام عاج سازی دور پالپی، می بینیم که در این مویرگ ها دو تغییر ایجاد می شود؛ اولاً اینکه این مویرگ ها بین odontoblast ها نفوذ می کنند، دومین تغییری که در مویرگ ها ایجاد می شود، تغییر در اندوتلیوم آنها است؛ به گونه ای که اندوتلیوم این مویرگ ها برای تبادل مواد، منفذ دار می شوند. بعد از تشکیل عاج این مویرگ ها از بین odontoblast ها عقب نشینی کرده و اندوتلیوم آنها به صورت پیوسته درمی آید.

blood vessels, بین odontoblast هایی که تمایز پیدا کرده اند، نفوذ کرده است.



کنترل معدنی شدن

در سراسر عاج سازی، معدنی شدن از طریق رسوب مواد معدنی صورت می گیرد که ابتدا در وزیکول ماتریکس ها انجام می شود. معدنی شدن توسط odontoblast ها از ۳ طریق کنترل می شود:

۱. تولید وزیکول ماتریکس
۲. تولید پروتئین هایی که رسوب مواد معدنی را تنظیم می کنند.
۳. سازگار نمودن ماتریکس آلی به طوری که پذیرای مواد معدنی باشد.

نحوه ی رسیدن یون های معدنی به جایگاه های معدنی شدن (mineralization)

در عاج سازی دیده شده است، اتصالاتی که odontoblast ها را در کنار هم نگه می دارد، اتصالات کامل و سفتی نیستند (incomplete junction). بنابراین انتقال (نفوذ) مایع بافتی که اشباع از کلسیم و فسفر است، به راحتی انجام می شود. به علاوه کانال های کلسیمی نوع L (type L) که در غشای پلاسمایی قاعده ای odontoblast ها قرار دارند، امکان نفوذ مواد معدنی را ایجاد می کنند. جالب است که با بسته شدن این کانال ها، معدنی شدن عاج تحت تاثیر قرار می گیرد.

الگوی معدنی شدن

معدنی شدن به صورت کلسیفیکاسیون توده ای (globular) یا خطی (linear) انجام می شود که تبعیت از این الگوها به میزان تشکیل عاج بستگی دارد؛ به طوری که کلسیفیکاسیون توده ای یا کلکواسفریک (calcospheric) شامل رسوب کریستال ها در مناطق مجزای ماتریکس است که با رشد مداوم این کریستال ها توده های گلوبولار شکل گرفته و این توده ها به بزرگ شدن ادامه می دهند تا سرانجام به منظور تشکیل یک توده ی منفرد کلسیفیه، به هم متصل شوند. الگوی معدنی شدن عاج پوششی، به صورت وزیکول های ماتریکس است (از طریق وزیکول های ماتریکس کنترل می شود). که باعث تشکیل کانون های معدنی شده می شود، سپس این منطق رشد کرده و به هم متصل می شوند. در عاج دور پالپی (circumpulpal dentin)، الگوی معدنی شدن هم به صورت توده ای و هم به صورت خطی است. اندازه ی توده ها، به میزان تجمع عاج بستگی دارد و در مناطقی که تجمع عاج به سرعت صورت می گیرد، توده های بزرگتری هم تشکیل می شوند.

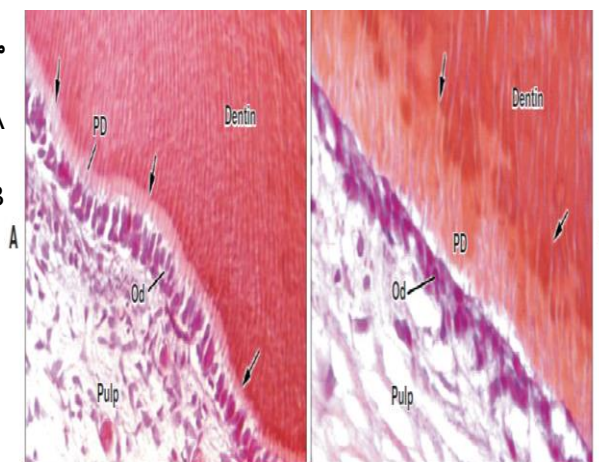
الگوی کلسیفیکاسیون خطی (linear)

وقتی که سرعت تشکیل توده ها به کندی پیشرفت کند، می بینیم که ناحیه ی معدنی شده بسیار یکنواخت است که این یکنواختی فرآیند معدنی شدن را الگوی خطی یا linear می گویند.

معدنی شدن به صورت توده ای و خطی را نشان می دهد.

A: الگوی خطی که نظم ساختاری دارد.

B: الگوی توده ای است که توده ها به صورت نواحی قرمز نشان داده شده اند.



نحوه ی عاج سازی ریشه

همانطور که می دانیم سلول های اپتیلیالی غلاف هرت ویگ (Hertwig's root sheath)، باعث تمایز odontoblast ها در ناحیه ی عاج ریشه می شوند. عاج ریشه داری یک سری تفاوت هایی با عاج تاج دندان است:

۱. خارجی ترین لایه ی عاج ریشه، از نظر نحوه ی جهت گیری و سازمان یابی رشته های کلاژن با عاج تاج متفاوت است.
۲. محتوی فسفو پروتیین عاج ریشه و تاج هم با هم متفاوتند که این تفاوت به این خاطر است که سرعت تشکیل عاج در ریشه بسیار پایین تر بوده و میزان معدنی شدن در آن با عاج تاج متفاوت است.

بافت شناسی عاج

وقتی در زیر میکروسکوپ به بررسی بافت شناسی عاج می پردازیم، چندین ساختار در آن قابل تشخیص است:

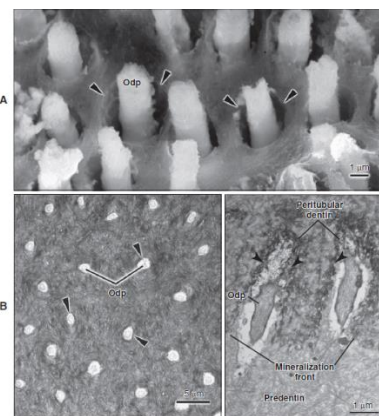
۱. توبول های عاجی (dentinal tubule)
۲. عاج بین توبولی (peritubular dentin)
۳. عاج داخل توبولی (Intertubular dentin)
۴. نواحی دارای کلسیفیکاسیون ناقص به نام عاج بین توده ای (Interglobular dentin)
۵. خطوط رشد (incremental growth lines)
۶. لایه ی دانه دار تومز که منحصر در ریشه می بینیم (granular layer of tomes)

توبول های عاجی (dentinal tubule)

Dentinal tubule، در واقع کانالیکول هایی هستند که توبول های عاجی را تشکیل می دهند و زواید odontoblast ها مثل زواید osteocyte ها، به این کانالیکول هایی که از لایه ی عاجی عبور می کنند، وارد می شوند. توبول های عاجی در تمامی ضخامت عاج، یعنی از محل اتصال dentinoenamel junction (DEJ) تا پالپ ادامه پیدا می کنند و یک شبکه به منظور انتشار مواد غذایی در سرتاسر عاج تشکیل می دهند.

شکل میکروسکوپی odontoblast processes (odp) که درون کانالیکول ها یا همان توبول های عاجی

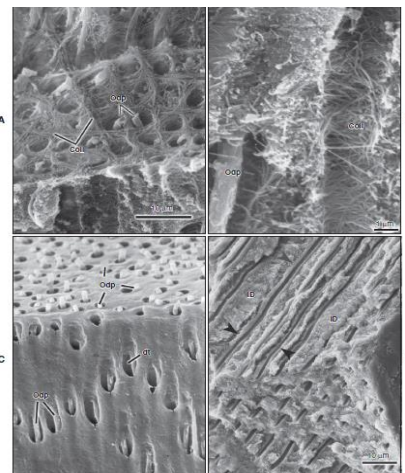
قرار دارند.



odp و الیاف کلاژن را نشان می دهد.

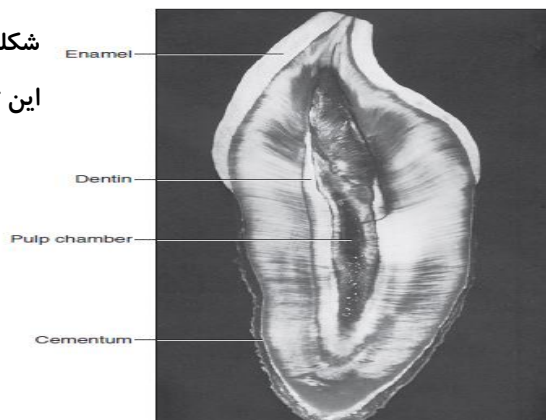
A: مقطع عرضی که رشته های کلاژن در اطراف odp قرار دارند.

B: مقطع طولی که رشته های کلاژن به صورت عمود بر odp هستند.



ساختار توبول‌ها، بیانگر مسیری است که odontoblast ها در طول دوره ی عاج سازی آن را طی می کنند که دیده شده توبول ها در عاج تاج، از یک شکل S مانند از سطح خارجی عاج به محیط پالپ امتداد پیدا می کنند. میزان خمیدگی S شکل، در زیر لبه های بُرنده و کاسپ ها، بسیار کمتر از نواحی دیگر است و توبول ها در این نواحی یک مسیر مستقیم را طی می کنند. علت این خمیدگی ها، به خاطر ازدحام odontoblast ها است و هنگامی که این سلول ها به سمت مرکز پالپ حرکت می کنند، این خمیدگی ها را ایجاد می کنند. با ازدحام زیاد این odontoblast ها، بعضی آن ها به صورت انتخابی و از طریق آپوپتوز، از بین می روند. ازدحام odontoblast در عاج ریشه کم است یا وجود ندارد؛ پس به همین خاطر، خمیدگی عاج در این ناحیه دیده نمی شود.

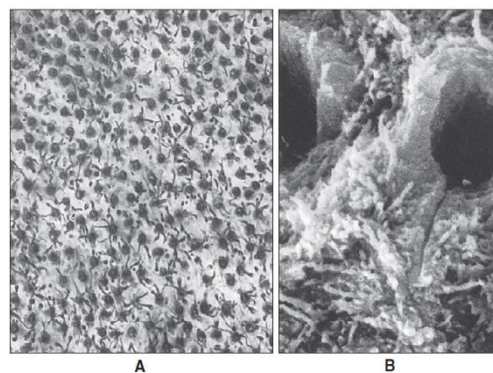
شکلی از نمای خشک دندان است که در قسمت تاج، توبول های عاجی نمای S شکل داشته ولی این توبول ها در قسمت ریشه، مستقیم اند.



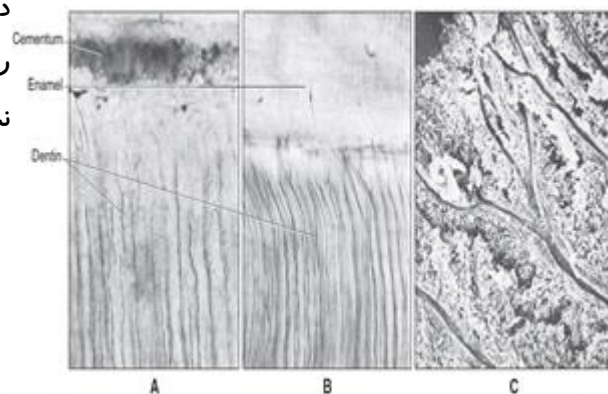
ساختار توبول های عاجی به صورت tapered (نوک تیز) است، به صورتی که در نواحی که در نزدیکی پالپ قرار دارد، پهنای بیشتر و در نواحی که نزدیک به DEJ قرار دارد، پهنای کمتری دارد. در قسمت تاجی دندان های molar و premolar جوان، مقدار توبول های عاجی بین ۵۹۰۰۰ تا ۷۶۰۰۰ عدد در هر میلی متر مربع در سطح پالپی تخمین زده شده است و در سطح مینا تقریباً به نصف این مقدار میرسد. با کوچکتر شدن فضای پالپ و ازدحام odontoblast ها، مقدار توبول های عاجی در واحد حجم افزایش پیدا می کند. کاهش قابل توجه ای در تراکم متوسط توبول های عاجی در عاج ریشه ای در مقایسه با عاج گردنی دیده می شود.

توبول های عاجی به میزان زیادی تقسیم شده و یک سیستم کانالیکولار آناستوموز دهنده ای در عاج برای تبادل مواد غذایی ایجاد می کند. شاخه های اصلی در عاج ریشه بسیار بیشتر از شاخه های اصلی در عاج تاج هستند. ماهیت توبولار عاج، باعث نفوذپذیری غیرمعمول این بافت سخت شده که این امر باعث افزایش میزان پوسیدگی و پاسخ پالپ به روش های ترمیم دندان می شود.

این شکل، انشعابات توبول های عاجی را در میکروسکوپ نوری نشان می دهد که این انشعابات ظریف قسمت توبولار را احاطه کرده و سیستم تغذیه کانال ها اعمال شده است.



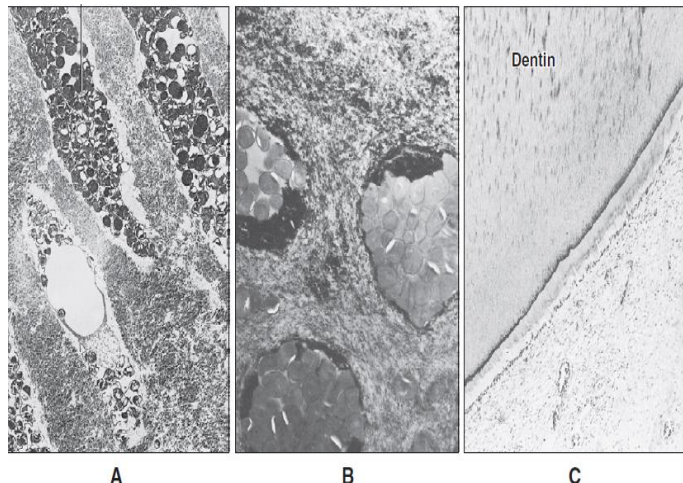
در شکل A، عاج ریشه را می بینیم که انشعابات بیشتری نسبت به شکل B که عاج تاج را نشان می دهد، دارد. شکل C، میکروسکوپ الکترونی است که انشعابات عاجی را نشان می دهد.



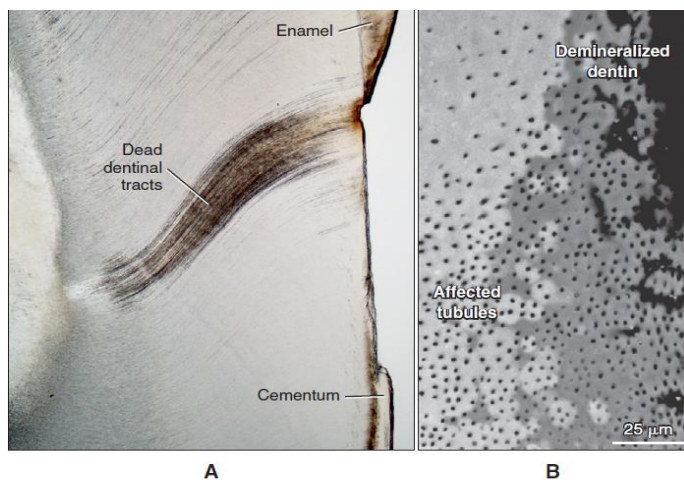
توبول‌هایی که به وسیله‌ی پوسیدگی اشغال شده‌اند، توبول‌هایی هستند که از مواد باکتری پر شده‌اند و به صورت تیره دیده می‌شوند و زوائد ادنتوبلاست‌ها (odontoblast process) وجود ندارند یا عقب‌نشینی کرده‌اند و درواقع این توبول‌ها تبدیل به توبول‌های مرده یا dead tract می‌شوند. ما با انجام اعمال ترمیمی این dead tract ها را seal می‌کنیم و از پالپ در برابر infection های مختلف محافظت می‌کنیم. گفته می‌شود که بعضی از این dead tract ها به صورت نرمال در بافت عاج دیده می‌شوند؛ علت وجود این dead tract ها، همان crowding ادنتوبلاست‌ها است که به سمت پالپ مهاجرت می‌کنند.

در نمای ground section یا همان نمای خشک، این توبول‌های عاجی که فاقد ادنتوبلاست هستند، به صورت تیره دیده می‌شوند؛ چون فضای داخلی توبول‌ها به وسیله‌ی هوا پر شده‌است.

در شکل، پوسیدگی عاج را می‌بینیم که مسیر طبیعی عبور میکروارگانیسم‌ها از طریق توبول‌های عاجی است. در شکل a مقطع طولی و در شکل b مقطع عرضی را نشان می‌دهد و در شکل c چون میکروارگانیسم‌ها رنگ را به خود جذب می‌کنند، ما می‌توانیم توبول‌های عاج پوسیده را به صورت توبول‌های تیره مشاهده کنیم.



در این شکل می‌بینیم که dead tract ها در نمای ground section، به صورت تیره رنگ خودشان را نشان می‌دهند.

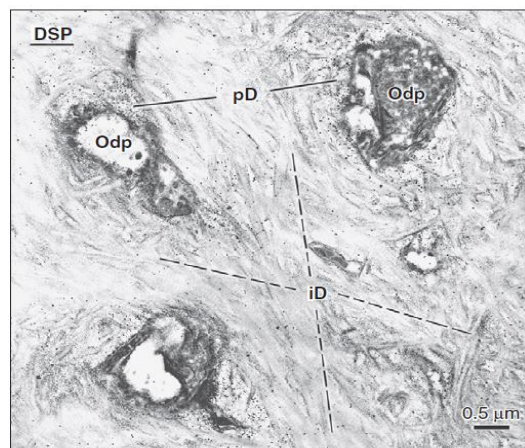


Peritubular dentin (عاج دور توبولی)

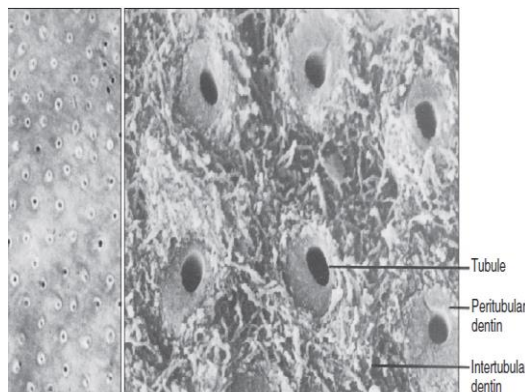
توبول های عاجی به وسیله ی حلقه ای از ماتریکس کلسیفیه به نام عاج دور توبولی احاطه می‌شوند. مکانیسم تشکیل و ترکیب دقیق این عاج هنوز مشخص نیست، ولی شواهد نشان می‌دهد که عاج دور توبولی بسیار معدنی تر از عاج داخل توبولی است و رشته های کلاژن کمتری نسبت به آن دارد. در دندان های جوندگان این نوع عاج (عاج دور توبولی)، غنی از پروتئین های ماتریکس غیر کلاژنه DSP و DMP1 است.

در بررسی قطعات خشک از عاج مینرالیزه ای که با زاویه ی عمود بر توبول های عاجی بریده شده اند، می‌توانیم حلقه ی هاپیر مینرالیزه ی عاج دور توبولی را مشاهده کنیم. برای مشاهده ی این حلقه می‌توانیم از میکروسکوپ نوری و الکترونی استفاده کنیم.

این شکل، تجمع سیالو پروتئین های عاج (DSP) را در اطراف زوائد ادنتوبلاست نشان می‌دهد که در این نواحی کلاژن اندکی وجود دارد که با محل عاج دور توبولی مطابقت دارد.



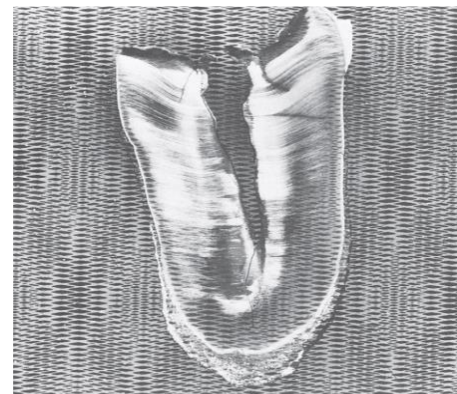
در شکل، عاج توبولار، پری توبولار و اینترتوبولار در مقطع خشک دندان مشخص شده است.



Sclerotic dentin

Sclerotic dentin لوله های عاجی هستند که با مواد کلسیفیه پر شده اند. هنگامی که این اتفاق برای چندین توبول در یک ناحیه رخ می دهد، عاج ظاهری شفاف و شیشه ای پیدا می کند.

مقدار عاج اسکروتیک با افزایش سن افزایش پیدا می کند. این نوع عاج در یک سوم راسی ریشه و در میانهای تاج یعنی بین سطح پالپ و اتصال عاج و مینا بیشتر مشاهده می شود.



این شکل، مقطع خشک دندان را نشان می دهد و ناحیه هایی که ظاهر شفاف دارند، مربوط به عاج اسکروتیک می باشد.

انسداد لوله های عاجی با مواد معدنی در دندان های premolar افراد ۱۸ ساله، بدون اینکه تحت تاثیرات خارجی مشخصی باشند، شروع می شود؛ پس فرایند تشکیل عاج اسکروتیک، پاسخی فیزیولوژیک است و در اثر رسوب مداوم عاج peritubular رخ می دهد. این sclerosis، نفوذپذیری عاج را کاهش می دهد و این پدیده می تواند به حیات دراز مدت پالپ کمک کند؛ در نتیجه یک مکانیسم دفاعی بدن برای حفاظت از پالپ است.

Intertubular dentin (عاج بین توبولی)

عاج بین توبولی، عاجی است که در بین توبول های دندان قرار گرفته است. این عاج، اولین محصول ترشحات ادنتوبلاست ها است و از فیبریل های کلاژن نوع ۱ که به صورت شبکه ای فشرده با قطر بین ۵۰ تا ۲۰۰ نانومتر قرار گرفته اند، تشکیل شده است. کریستال های آپاتیت بر روی این شبکه رسوب می کنند. فیبریل های کلاژن با زاویه ی تقریباً قائم نسبت به توبول های عاجی قرار گرفته اند. ماده ی بنیادی که در عاج بین توبولی قرار گرفته است، شامل پروتئین های غیر کلاژنی مناسب برای بافت های کلسیفیه و برخی پروتئین های پلازما می باشد.

Interglobular dentin (عاج بین گلوبولی)

Interglobular dentin توصیف ناحیه ای از عاج بالغ است که به میزان اندکی معدنی شده یا به طور کلی غیر معدنی است. در واقع ناحیه هایی را توصیف می کند که در آن اتصال نواحی معدنی به صورت توده ای یکنواخت، صورت نگرفته است. این نوع عاج در افرادی که کمبود ویتامین D دارند یا افرادی که در زمان شکل گیری عاج در معرض مقادیر بالای فلوراید بوده اند، شایع است. این نوع عاج غالباً در عاج دور پالپی، دقیقاً در زیر عاج پوششی، دیده می شود که در این ناحیه اغلب الگوی معدنی شدن به صورت توده ای است.

این بی‌نظمی‌های عاج، بیشتر به خاطر نقص در معدنی شدن است و نه به خاطر نقص در شکل‌گیری ماتریکس؛ بنابراین الگو و نمای عادی توبول‌ها بدون تغییر باقی مانده است و بدون هیچ تغییری در الگو، نواحی عاج بین گلوبولی را مشاهده می‌کنیم. با این وجود در ناحیه‌هایی که توبول‌ها از نواحی غیر معدنی عبور می‌کنند، هیچ عاج دور توبولی نمی‌توانیم مشاهده کنیم.

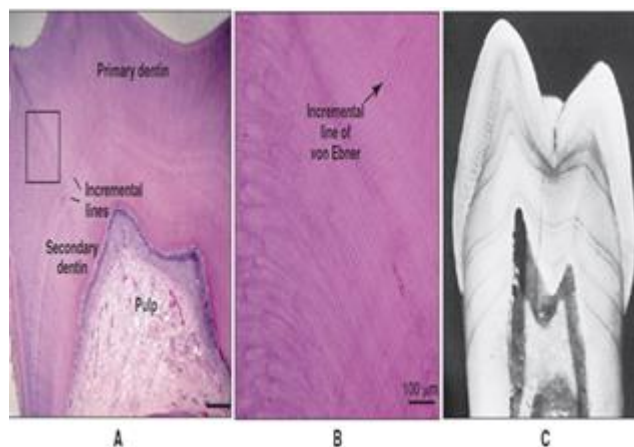
خطوط رشدی (incremental growth lines)

ماتریکس آلی عاج اولیه با سرعتی تقریباً برابر با ۴ میکرومتر در روز رسوب می‌کند. از طریق تکنیک‌های رنگ‌آمیزی اختصاصی، تغییراتی جزئی که در جهت‌گیری رشته‌های کلاژن در بین این فازهای روزانه وجود دارد، قابل مشاهده است. نحوه‌ی جهت‌گیری رشته‌های کلاژن در فواصل پنج روزه، بسیار چشم‌گیر و قابل مشاهده است. این خطوط رشدی، عمود بر توبول‌های عاجی قرار دارند و به طور کلی رسوب متناوب و خطی عاج را می‌توانند به ما نشان بدهند.

خطوط von Ebner

طرح ریتمیکی از تشکیل عاج در هر ۵ روز هستند که به فواصل ۲ میکرومتر وجود دارند. این خطوط در بررسی مقاطع معمولی و خشک به راحتی قابل مشاهده هستند. بررسی‌های دقیق از معدنی شدن گلوبولار نشان داده که سرعت رسوب ماتریکس آلی عاج تقریباً ۲ میکرومتر در هر ۱۲ ساعت است؛ بنابراین ماتریکس آلی عاج به طور متناوب با سرعت ۴ میکرومتر در روز رسوب کرده و هر ۱۲ ساعت معدنی می‌شود.

خطوط وون ابنر در شکل B با فلش نشان داده شده است.



خطوط دوره‌ای Owen

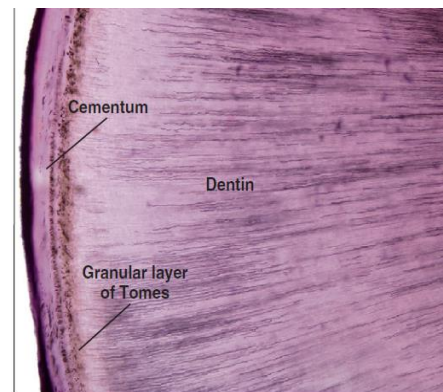
این خطوط، در نتیجه‌ی خمیدگی‌ها و انحنای ثانویه و همزمان توبول‌های عاجی مجاور به وجود می‌آیند. **این در حالی است که بعضی از نظریه‌ها، خطوطی مشابه خطوط Owen را توصیف می‌کنند؛ این خطوط حاصل نارسایی‌های شدید معدنی شدن هستند و این خطوط نیز با نام خطوط دوره‌ای Owen نامگذاری می‌شوند.** این خطوط در مقطع طولی دندان خشک، به آسانی قابل تشخیص هستند.

neonatal line، خطوط رشدی عریض دیگری هستند که در اثر ترومای فیزیولوژیک تولد به وجود می‌آید و در واقع نوعی نقص در معدنی شدن هستند. دوره های بیماری یا سوء تغذیه، هر کدام می‌توانند به صورت خطوط مشخصی در عاج خود را نشان دهند.

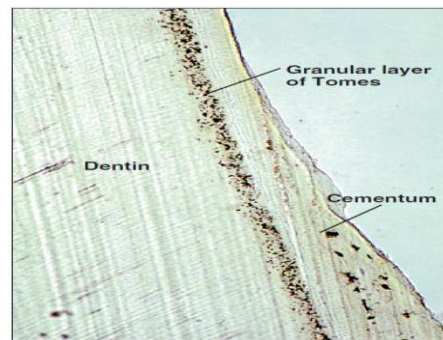
Granular layer of tomes

لایه‌ی دانه‌دار تومز، در مقاطع خشک دندانی درست در زیر سطحی از عاج ریشه که با سمنتوم پوشیده شده است، قرار دارد که ناشی از افزایش در میزان گرانول‌ها است. این لایه، از CJ به سمت Apex دندان قابل مشاهده است که دلایل مختلفی برای آن عنوان شده است.

در شکل، لایه‌ی دانه‌دار تومز درست در زیر سمنتوم قابل مشاهده است.



در شکل نشان داده شده است که از CJ به سمت Apex دندان، ما لایه‌ی دانه‌دار تومز را درست در زیر سمنتوم مشاهده می‌کنیم.



تفاسیر مختلفی برای علل شکل‌گیری این ساختارها پیشنهاد شده است:

۱. بعضی‌ها اعلام کرده‌اند که ظاهر دانه‌دار لایه، به علت مناطق کوچک هاپیو مینرالیزه‌ای است که در عاج بین گلوبولی قرار دارد.
۲. نظریه‌ی دیگری عنوان می‌کند که این مناطق، فضاهای خالی واقعی هستند که با هوا پر شده‌اند. با این حال نمی‌توانیم که این فضاها را در مقاطع رنگ‌آمیزی شده با میکروسکوپ الکترونی، مشاهده کنیم.
۳. عده‌ای پیشنهاد می‌کنند که این فضاها تنها در مقاطعی که از قسمت گرد شده‌ی انتهایی توبول‌های عاجی تهیه شده‌اند، به وجود آمده‌اند. قسمت گرد شده‌ی توبول‌های عاجی، تنها در عاج ریشه یافت می‌شود و به دلیل انکسار نور، تنها در مقاطع خشک و ضخیم مشاهده می‌شود.
۴. نظریات جدید، علت تشکیل لایه‌ی دانه‌دار تومز را در ارتباط با آرایش خاص ماتریکس‌های کلاژنه و غیر کلاژنه در سطح بین عاج و سمنتوم تفسیر می‌کنند.