

# 15消化管

消化器の一般的な構造			
トラクト	295	小腸	314
口腔	298	粘膜	314
舌	298	その他のレイヤー	317
歯	300	大腸	318
象牙質	301	要点の要約	326
食道	305	あなたの知識を評価する	327
胃	307		
粘膜	307		
その他のレイヤー	314		

消化管は、口腔、食道、胃、小腸、大腸、肛門、およびそれに関連する腺である唾液腺、膵臓、肝臓から構成されています (図 15-1)。消化管 (GI) または消化管とも呼ばれる消化管の機能は、摂取した食物から体の維持、成長、エネルギー需要に必要な分子を取得することです。消化の過程で、タンパク質、複合炭水化物、核酸、脂肪は小腸の内壁から簡単に吸収される小さな分子サブユニットに分解されます。ほとんどの水と電解質は大腸で吸収されます。さらに、消化管全体の内層は、消化管の腔の contenu と体の結合組織および血管系の内部環境との間に重要な保護バリアを形成します。

消化管内の構造により、次のことが可能になります。

- 経口摂取、つまり口腔内への食物や液体の導入。
- 咀嚼、つまり噛み砕く動作により、固形の食物を消化可能な大きさに分割します。
- 運動性、筋肉による物質の移動管;
- 潤滑および保護粘液、消化酵素、酸性およびアルカリ性液体、胆汁の分泌。
- 運動性と分泌の局所制御のためのホルモン放出。
- 食品中の大きな高分子をより小さな分子とそのサブユニットに化学的に消化または酵素的に分解すること。

■小さな分子と水が血液とリンパに吸収される。

■消化吸収されない成分の除去  
食物。

## の一般的な構造 消化管

消化管のすべての領域には、共通の構造的特徴があります。消化管は、直径が変化する内腔と、粘膜、粘膜下層、筋層、漿膜の 4 つの主要な層で構成された壁を持つ中空の管です。図 15-2 は、これら 4 つの層の概要を示しています。各層の主な特徴をここにまとめます。

- 粘膜は、上皮の内層、血管、リンパ管、リンパ球、平滑筋細胞、小腺を含む粘膜固有層、および粘膜筋板と呼ばれる薄い平滑筋層で構成されています。  
  
粘膜を粘膜下層から分離し、粘膜の局所的な動きを可能にします。粘膜は粘膜とも呼ばれます。
- 粘膜下層にはより密度の高い結合組織が含まれており、大きな血管とリンパ管、自律神経の粘膜下神経叢 (マイスナー神経叢) が含まれます。また、腺や重要なリンパ組織が含まれる場合もあります。
- 厚い筋層 (または外筋層) は、2 つ以上のサブ層として組織化された平滑筋細胞で構成されています。

# 15消化管

消化器の一般的な構造			
トラクト	295	小腸	314
口腔	298	粘膜	314
舌	298	その他のレイヤー	317
歯	300	大腸	318
象牙質	301	要点の要約	326
食道	305	あなたの知識を評価する	327
胃	307		
粘膜	307		
その他のレイヤー	314		

消化管は、口腔、食道、胃、小腸、大腸、肛門、およびそれに関連する腺である唾液腺、膵臓、肝臓から構成されています (図 15-1)。消化管 (GI) または消化管とも呼ばれる消化管の機能は、摂取した食物から体の維持、成長、エネルギー需要に必要な分子を取得することです。消化の過程で、タンパク質、複合炭水化物、核酸、脂肪は小腸の内壁から簡単に吸収される小さな分子サブユニットに分解されます。ほとんどの水と電解質は大腸で吸収されます。さらに、消化管全体の内層は、消化管の腔の contenu と体の結合組織および血管系の内部環境との間に重要な保護バリアを形成します。

消化管内の構造により、次のことが可能になります。

- 経口摂取、つまり口腔内への食物や液体の導入。
- 咀嚼、つまり噛み砕く動作により、固形の食物を消化可能な大きさに分割します。
- 運動性、筋肉による物質の移動管;
- 潤滑および保護粘液、消化酵素、酸性およびアルカリ性液体、胆汁の分泌。
- 運動性と分泌の局所制御のためのホルモン放出。
- 食品中の大きな高分子をより小さな分子とそのサブユニットに化学的に消化または酵素的に分解すること。

■小さな分子と水が血液とリンパに吸収される。

■消化吸収されない成分の除去  
食物。

## 消化管の一般的な構造

消化管のすべての領域には、共通の構造的特徴があります。消化管は、直径が変化する内腔と (粘膜、粘膜下層、筋層、漿膜の 4 つの主な層で構成された壁を持つ中空の管です。図 15-2 は、これら 4 つの層の概要を示しています。各層の主な特徴をここにまとめます。

- 粘膜は、上皮の内層、血管、リンパ管、リンパ球、平滑筋細胞、小腺を含む粘膜固有層、および粘膜筋板と呼ばれる薄い平滑筋層で構成されています。
- 粘膜下層にはより密度の高い結合組織が含まれており、大きな血管とリンパ管、自律神経の粘膜下神経叢 (マイスナー神経叢) が含まれます。また、腺や重要なリンパ組織が含まれる場合もあります。
- 厚い筋層 (または外筋層) は、2 つ以上のサブ層として組織化された平滑筋細胞で構成されています。

**GENERAL STRUCTURE OF THE DIGESTIVE TRACT****295****ORAL CAVITY****298**

Tongue

298

Teeth

300

Dentin

301

**ESOPHAGUS****305****STOMACH****307**

Mucosa

307

Other Layers

314

**SMALL INTESTINE****314**

Mucosa

314

Other Layers

317

**LARGE INTESTINE****318****SUMMARY OF KEY POINTS****326****ASSESS YOUR KNOWLEDGE****327**

The digestive system consists of the **digestive tract**—oral cavity, esophagus, stomach, small and large intestines, and anus—and its associated glands—salivary glands, liver, and pancreas (Figure 15–1). Also called the **gastrointestinal (GI) tract** or **alimentary canal**, its function is to obtain molecules from the ingested food that are necessary for the maintenance, growth, and energy needs of the body. During digestion proteins, complex carbohydrates, nucleic acids, and fats are broken down into their small molecule subunits that are easily absorbed through the small intestine lining. Most water and electrolytes are absorbed in the large intestine. In addition, the inner layer of the entire digestive tract forms an important protective barrier between the content of the tract's lumen and the internal milieu of the body's connective tissue and vasculature.

Structures within the digestive tract allow the following:

- **Ingestion**, or introduction of food and liquid into the oral cavity;
- **Mastication**, or chewing, which divides solid food into digestible pieces;
- **Motility**, muscular movements of materials through the tract;
- **Secretion** of lubricating and protective mucus, digestive enzymes, acidic and alkaline fluids, and bile;
- **Hormone release** for local control of motility and secretion;
- **Chemical digestion** or enzymatic degradation of large macromolecules in food to smaller molecules and their subunits;

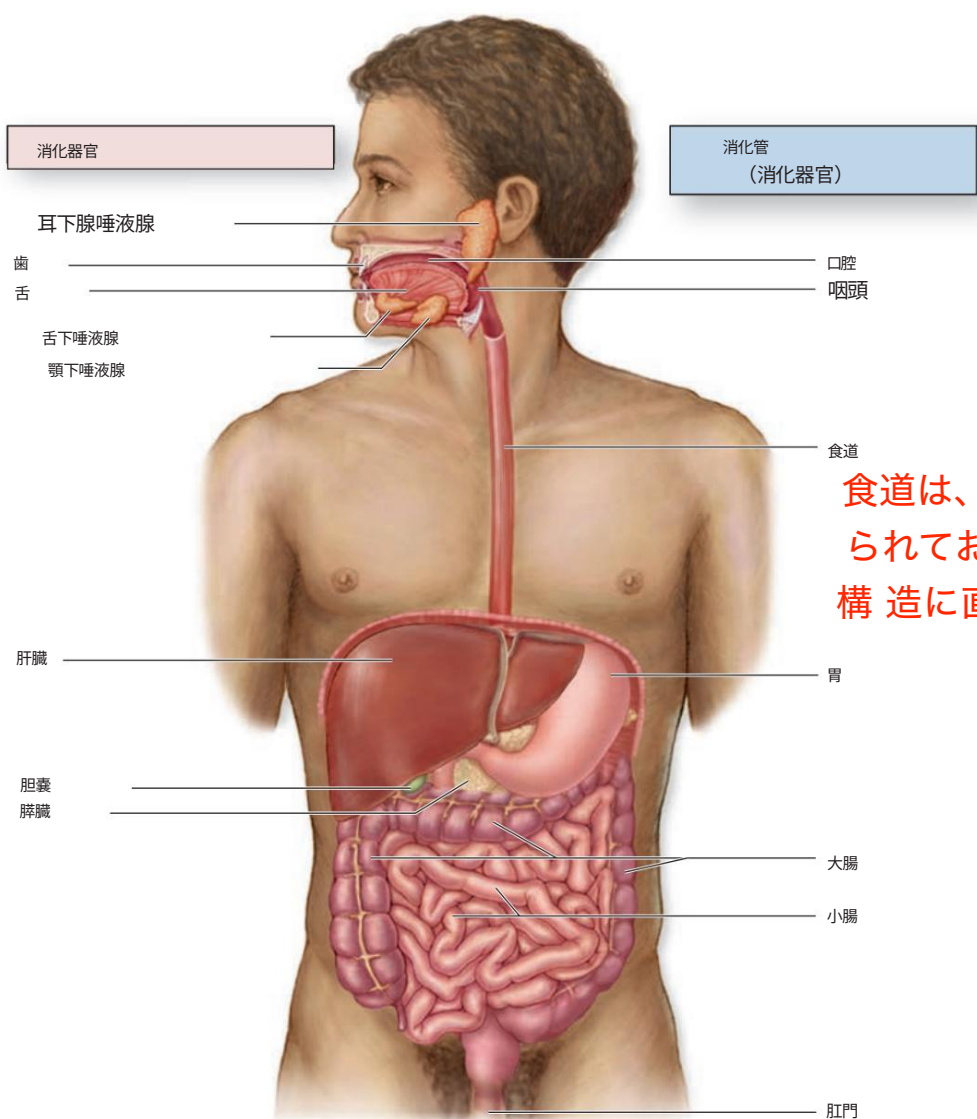
- **Absorption** of the small molecules and water into the blood and lymph; and
- **Elimination** of indigestible, unabsorbed components of food.

## ➤ GENERAL STRUCTURE OF THE DIGESTIVE TRACT

All regions of the GI tract have certain structural features in common. The GI tract is a hollow tube with a lumen of variable diameter and a wall made up of four main layers: the **mucosa**, **submucosa**, **muscularis**, and **serosa**. Figure 15–2 shows a general overview of these four layers; key features of each layer are summarized here.

- The **mucosa** consists of an **epithelial lining**; an underlying **lamina propria** of loose connective tissue rich in blood vessels, lymphatics, lymphocytes, smooth muscle cells, and often containing small glands; and a thin layer of smooth muscle called the **muscularis mucosae** separating mucosa from submucosa and allowing local movements of the mucosa. The mucosa is also frequently called a **mucous membrane**.
- The **submucosa** contains denser connective tissue with larger blood and lymph vessels and the **submucosal (Meissner) plexus** of autonomic nerves. It may also contain glands and significant lymphoid tissue.
- The thick **muscularis** (or muscularis externa) is composed of smooth muscle cells organized as two or more sublayers.

図15-1消化器系。



食道は、腔内に吊り下げられておらず、隣接する構造に直接結合している

消化器系は口（口腔）から肛門までの管と、この管に排出される消化腺から構成されています。

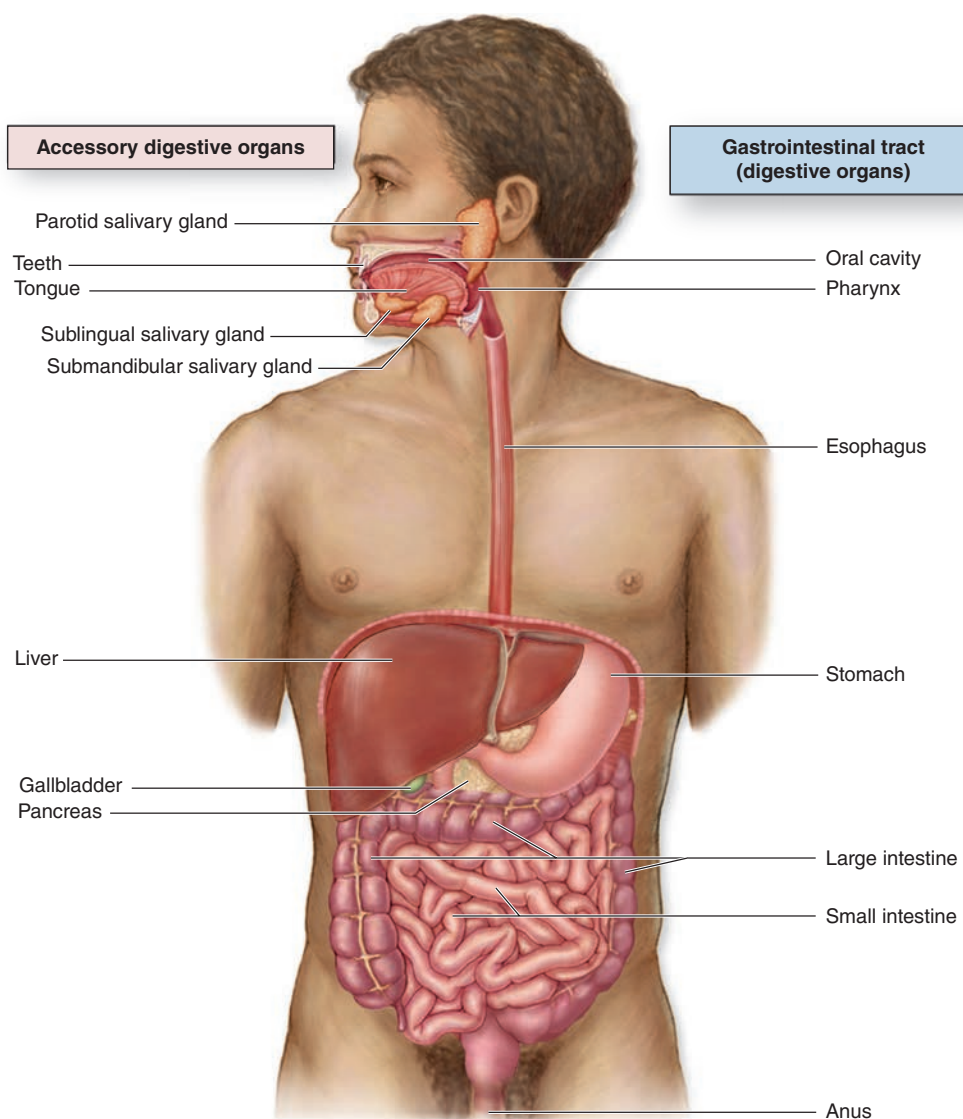
消化管には主に唾液腺、肝臓、膵臓があります。これらの補助消化腺については第16章で説明します。

内層（内腔に近い側）では、繊維の方向は一般に円形で、外層では縦方向です。筋層間の結合組織には、血管やリンパ管のほか、小神経節に集合し節前神経繊維と節後神経繊維で相互接続された多数の自律神経細胞からなる筋層間（アウエルバッハ）神経叢があります。この神経叢と粘膜下神経叢が一緒になって、消化管の腸神経系を構成します。筋層の収縮によって内腔の内容物が混合され、前方に推進されますが、この収縮は筋層間神経叢によって生成され、調整されます。

- 漿膜は、薄い結合組織の層で、腹腔内にある消化管の最外層で、血管、リンパ管、脂肪組織で構成され、単純な扁平上皮または中皮で覆われています。小腸と大腸の漿膜は、腸間膜の一部と連続しています。腸間膜は、両側が中皮で覆われた脂肪結合組織の大きなひだで、腸を吊り下げ、腹腔の内側を覆う漿膜である腹膜と連続しています。食道は、腔内に吊り下げられておらず、隣接する構造に直接結合しているため（図15-1）、



FIGURE 15–1 The digestive system.



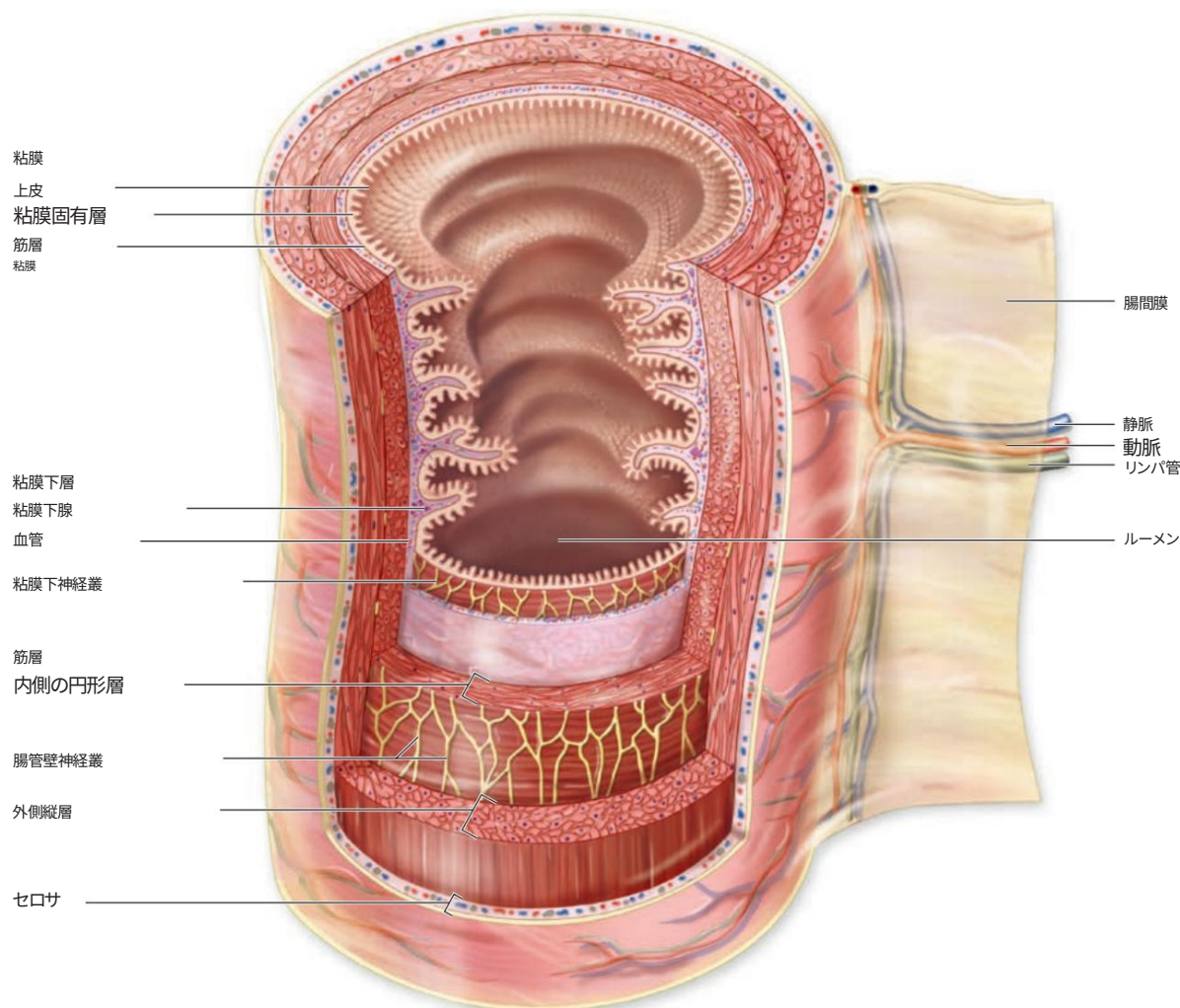
The digestive system consists of the tract from the mouth (oral cavity) to the anus, as well as the digestive glands emptying into this

tract, primarily the salivary glands, liver, and pancreas. These accessory digestive glands are described in Chapter 16.

In the internal sublayer (closer to the lumen), the fiber orientation is generally circular; in the external sublayer it is longitudinal. The connective tissue between the muscle sublayers contains blood and lymph vessels, as well as the **myenteric (Auerbach) nerve plexus** of many autonomic neurons aggregated into small ganglia and interconnected by pre- and postganglionic nerve fibers. This and the submucosal plexus together comprise the **enteric nervous system** of the digestive tract. Contractions of the muscularis, which mix and propel the luminal contents forward, are generated and coordinated by the myenteric plexus.

- The **serosa**, a thin sheet of loose connective tissue, rich in blood vessels, lymphatics, and adipose tissue, and covered with a simple squamous covering epithelium or **mesothelium**, is the outermost layer of the digestive tract located within the abdominal cavity. The serosa of the small and large intestines is continuous with portions of the **mesentery**, a large fold of adipose connective tissue, covered on both sides by mesothelium, that suspends the intestines and is continuous with the **peritoneum**, the serous membrane lining the abdominal cavity. The esophagus is not suspended in a cavity but bound directly to adjacent structures (Figure 15–1) and therefore lacks a

図15-2消化管の主な層と組織。



消化管の小腸部分の構造を示す図。左側に4つの主要な層と主な構成要素が示されています。胃、小腸、

大腸は腸間膜によって吊り下げられており、腸間膜は胃や腸からの神経、血管、リンパ管が集まる場所です。

漿膜の代わりに厚い**外膜**、つまり周囲の組織と連続した結合組織の層があります。

粘膜と粘膜下層にある多数の遊離免疫細胞とリンパ節が、第14章で説明した**MALT**を構成します。消化管には通常、**何千もの微生物種**が含まれており、腸内の有用な常在菌だけでなく、食べ物や飲み物から摂取される**潜在的な病原体**も含まれています。粘膜関連免疫防御システムは、上皮内層の薄い物理的バリアに対する重要なバックアップを提供します。上皮のすぐ下にある粘膜固有層には、マクロファージとリンパ球が豊富に存在し、その多くは**IgA抗体の産生**に使用されます。このような抗体は、上皮細胞によって産生される分泌タンパク質に結合して、**腸管腔にトランスサイトosis**されます。IgA複合体は、

**MALT (Mucosa-Associated Lymphoid Tissue)** とは **\*\*MALT (粘膜関連リンパ組織)\*\*** は、粘膜 (Mucosa) に存在する免疫組織の一部で、体内の粘膜に侵入する病原体を検出し、免疫応答を起こす役割を持っています。呼吸器、消化管、泌尿生殖器など、外界と接する粘膜に広がるリンパ組織を総称したものです。

消化酵素によるタンパク質分解を防ぎ、**特定のウイルスや細菌の病原体に対する重要な防御**を提供します。

#### 医療用途

**ヒルシュスプルング病 (先天性無神経膠腫巨大結腸症)**や**シャーガー病 (トリパノソーマ症、原生動物トリパノソーマ・クルーズによる感染症)**などの疾患では、消化管の腸管神経系の**神経叢**がそれぞれ欠損しているか、重度に損傷しています。これにより消化管の運動が妨げられ、一部の領域で拡張が生じます。腸管神経系の自律神経支配が豊かであることから、感情的ストレスが胃や消化管の他の領域に及ぼすよく知られた作用も解剖学的に説明できます。

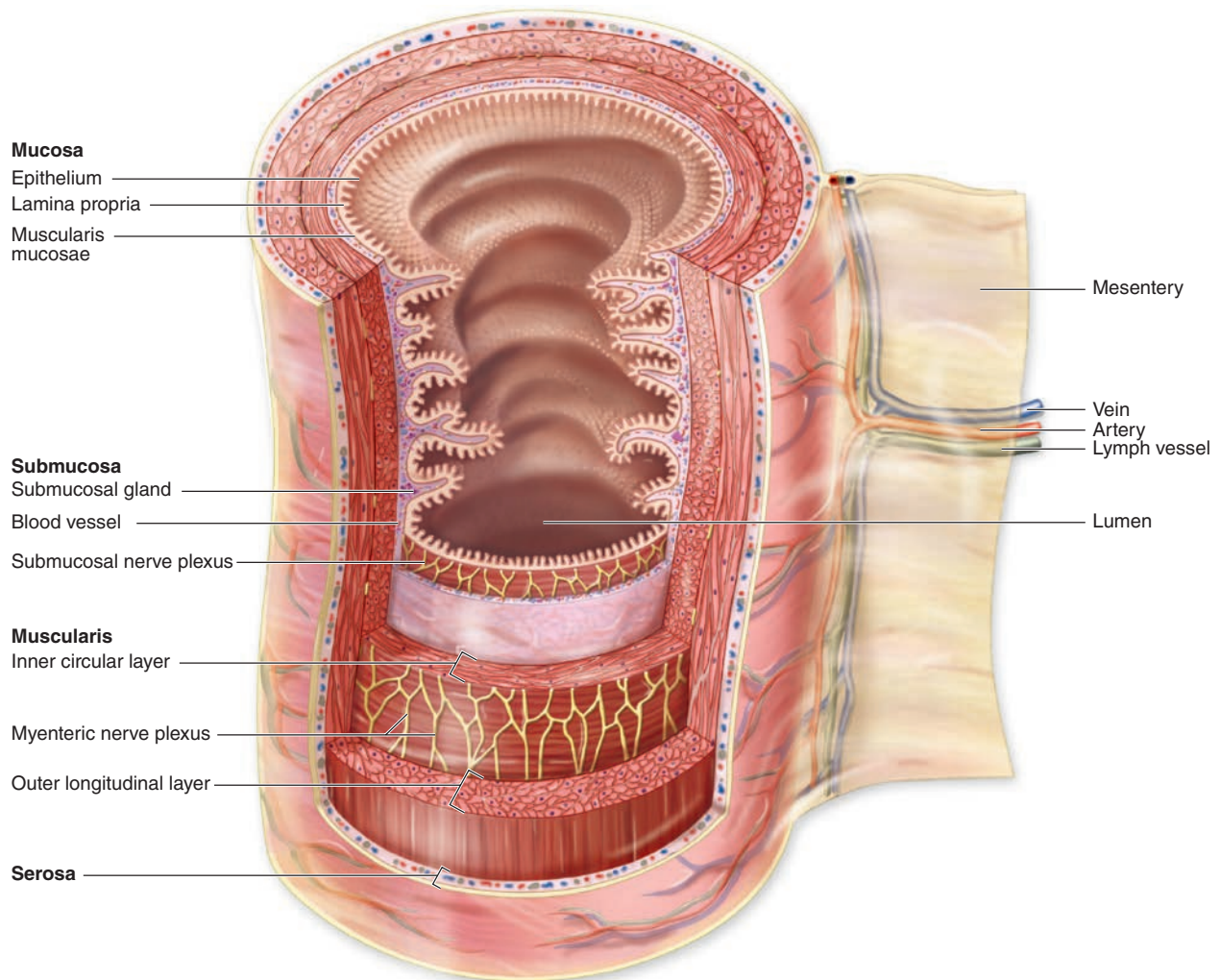
**FIGURE 15–2** Major layers and organization of the digestive tract.

Diagram showing the structure of the small intestine portion of the digestive tract, with the four main layers and their major components listed on the left. The stomach, small intestine, and

large intestine are suspended by mesenteries, which are the sites of nerves, blood vessels, and lymphatics from the stomach and intestines.

serosa, having instead a thick **adventitia**, a layer of connective tissue continuous with that of surrounding tissues.

The numerous free immune cells and lymphoid nodules in the mucosa and submucosa constitute the MALT described in Chapter 14. The digestive tract normally contains thousands of microbial species, including both useful inhabitants of the gut as well as potential pathogens ingested with food and drink. The mucosa-associated immune defense system provides an essential backup to the thin physical barrier of the epithelial lining. Located just below the epithelium, the lamina propria is rich with macrophages and lymphocytes, many for production of IgA antibodies. Such antibodies undergo transcytosis into the intestinal lumen bound to the secretory protein produced by the epithelial cells. This IgA complex resists

proteolysis by digestive enzymes and provides important protection against specific viral and bacterial pathogens.

### » MEDICAL APPLICATION

In diseases such as **Hirschsprung disease** (congenital aganglionic megacolon) or **Chagas disease (trypanosomiasis)**, infection with the protozoan *Trypanosoma cruzi*, plexuses in the digestive tract's enteric nervous system are absent or severely injured, respectively. This disturbs digestive tract motility and produces dilations in some areas. The rich autonomic innervation of the enteric nervous system also provides an anatomic explanation of the well-known actions of emotional stress on the stomach and other regions of the GI tract.



## ▶ 口腔

口腔（図 15-1）は**重層扁平上皮**で覆われており、場所によって**角質化**、**部分角質化**、または**非角質化**している。上皮の分化、角質化、および上皮と固有層との境界面は、表皮や真皮の特徴と似ており、皮膚でより広範囲に論じられている（第 18 章を参照）。表皮の角質化表面細胞と同様に、口腔上皮の退化した表層細胞は継続的に剥屑、つまり表面の損失を受ける。**表皮とは異なり、非角質化または過角化口腔上皮の剥がれた細胞は核を保持している。**

### » 医療用途

単純ヘルペス 1 型によるウイルス感染は、感染した上皮細胞の死を引き起こし、口腔粘膜または口の近くの皮膚の水疱性または潰瘍性の病変を引き起こす可能性があります。口腔内のそのような部分は口内炎と呼ばれ、皮膚では通常、口唇ヘルペスまたは熱性水疱と呼ばれます。このような病変は、多くの場合痛みを伴い、密集しており、精神的ストレス、発熱、病気、または局所的な皮膚損傷によって免疫防御が弱まり、**局所神経に存在するウイルスが上皮細胞に移動できる場合に発生**します。

**角質化した細胞層は摩擦による損傷に抵抗し、歯肉（歯茎）と硬口蓋の咀嚼粘膜**で最もよく発達しています。これらの領域の粘膜固有層は、その下の骨の骨膜に直接載っています。

**口蓋、頬、口底、咽頭（または喉）**（食道につながる口腔後部）の**粘膜上層は、角質化していない扁平上皮が優勢**です。粘膜上層は、粘膜表面を湿润状態に保つために継続的に分泌する多数の**小唾液腺**と、**リンパ組織を含む厚い粘膜下層**の上にあります。口腔全体で、上皮には一時的な抗原提示細胞と豊富な感覚神経支配が含まれています。

**唇**、すなわち大陰唇には**横紋筋のよく発達した中心部**があり（図 15-3）、この構造は食物の摂取、発話、その他のコミュニケーションに非常に可動性があります。どちらの唇も 3 つの異なる表面で覆われています。

- 内部の粘膜表面には、厚い非角質上皮と多数の小さな唇側唾液腺を持つ粘膜の内層があります。
- それぞれの**唇の赤い朱色の部分**は、非常に薄い角質化した重層扁平上皮で、口腔粘膜と皮膚の間の移行部です。この領域には唾液腺や汗腺がなく、舌からの唾液で湿润しています。下にある結合組織には感覚神経と毛細血管が豊富に存在し、この領域にピンク色を与えています。

## 図15-3唇。



唇の断面の低倍率顕微鏡写真。片側は典型的な**口腔粘膜(OM)**で覆われ、反対側は**毛包(F)**と関連する腺を含む皮膚(S)で覆われている。

唇の口側と正常な皮膚の間には、表皮が非常に薄く、**軽く角質化**しており、その下にある結合組織の豊富な微小血管系内の血液に対して透明である**赤唇帯(V)**があります。この領域には油分と汗を出す腺がないため、寒くて乾燥した天候では、極度の乾燥とひび割れが生じやすくなります。唇の内部には、**横紋筋(M)**と多数の**小唾液腺(G)**があります。(X10; H&E)

- 外側の表面には薄い皮膚があり、表皮層と真皮層、汗腺、そして皮脂腺を持つ多くの毛包で構成されています。

## 舌

舌は、咀嚼および嚥下中に摂取した物質を操作する、粘膜に覆われた横紋筋の塊です。**筋繊維はあらゆる方向**に向いており、高い可動性を実現しています。小さな筋束間の結合組織は粘膜固有層によって貫通されており、粘膜が筋芯に強く付着しています。舌の下面は滑らかで、典型的な粘膜で覆われています。舌の背側表面は不規則で、**前部 3 分の 2**にはさまざまな種類の小さな突起した**乳頭**が数百個あり、**後部 3 分の 1**、つまり舌の根元には**舌扁桃腺の塊**があります（図 15-4）。舌側面の乳頭領域と扁桃領域は、**終溝と呼ばれる V 字型の溝によって分離されています。**

舌乳頭は粘膜の隆起部であり、さまざまな形と機能を持ちます。4つのタイプがあります（図15-4）。

## ► ORAL CAVITY

The oral cavity (Figure 15–1) is lined with stratified squamous epithelium, which may be keratinized, partially keratinized, or nonkeratinized depending on the location. Epithelial differentiation, keratinization, and the interface between the epithelium and lamina propria are similar to those features in the epidermis and dermis and are discussed more extensively with skin (see Chapter 18). Like the keratinized surface cells of epidermis, the flattened superficial cells of the oral epithelium undergo continuous desquamation, or loss at the surface. Unlike those of the epidermis, the shed cells of the nonkeratinized or parakeratinized oral epithelium retain their nuclei.

### ► MEDICAL APPLICATION

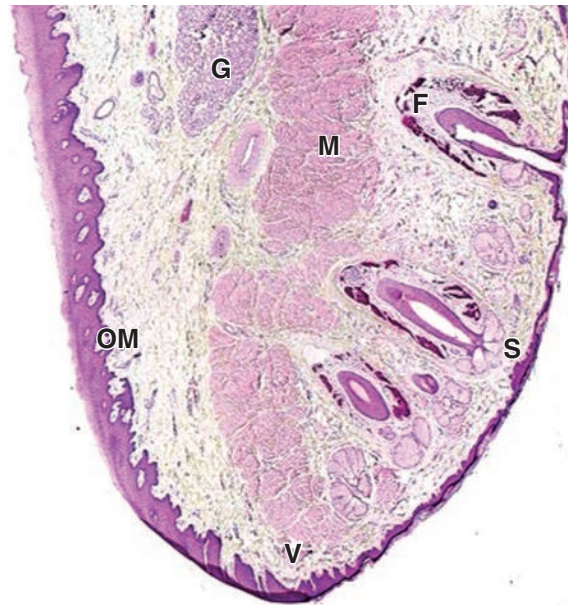
Viral infections with herpes simplex 1 cause death of infected epithelial cells that can lead to vesicular or ulcerating lesions of the oral mucosa or skin near the mouth. In the oral cavity such areas are called **canker sores**, and on the skin they are usually called **cold sores** or **fever blisters**. Such lesions, often painful and clustered, occur when the immune defenses are weakened by emotional stress, fever, illness, or local skin damage, allowing the virus, present in the local nerves, to move into the epithelial cells.

The keratinized cell layers resist damage from abrasion and are best developed in the **masticatory mucosa** on the gingiva (gum) and hard palate. The lamina propria in these regions rests directly on the periosteum of underlying bone. Nonkeratinized squamous epithelium predominates in the **lining mucosa** over the soft palate, cheeks, the floor of the mouth, and the **pharynx** (or throat), the posterior region of the oral cavity leading to the esophagus. Lining mucosa overlies a thick submucosa containing many minor salivary glands, which secrete continuously to keep the mucosal surface wet, and diffuse lymphoid tissue. Throughout the oral cavity, the epithelium contains transient antigen-presenting cells and rich sensory innervation.

The well-developed core of striated muscle in the **lips**, or labia, (Figure 15–3) makes these structures highly mobile for ingestion, speech, and other forms of communication. Both lips have three differently covered surfaces:

- The internal mucous surface has lining mucosa with a thick, nonkeratinized epithelium and many minor labial salivary glands.
- The red **vermilion zone** of each lip is covered by very thin keratinized stratified squamous epithelium and is transitional between the oral mucosa and skin. This region lacks salivary or sweat glands and is kept moist with saliva from the tongue. The underlying connective tissue is very rich in both sensory innervation and capillaries, which impart the pink color to this region.

FIGURE 15–3 Lip.



Low-magnification micrograph of a lip section showing one side covered by typical oral mucosa (**OM**), the opposite side covered by skin (**S**) containing hair follicles (**F**) and associated glands. Between the oral portion of the lips and normal skin is the vermilion zone (**V**), where epidermis is very thin, lightly keratinized, and transparent to blood in the rich microvasculature of the underlying connective tissue. Because this region lacks the glands for oil and sweat, it is prone to excessive dryness and chapping in cold, dry weather. Internally, the lips contain much striated muscle (**M**) and many minor salivary glands (**G**). (X10; H&E)

- The outer surface has thin skin, consisting of epidermal and dermal layers, sweat glands, and many hair follicles with sebaceous glands.

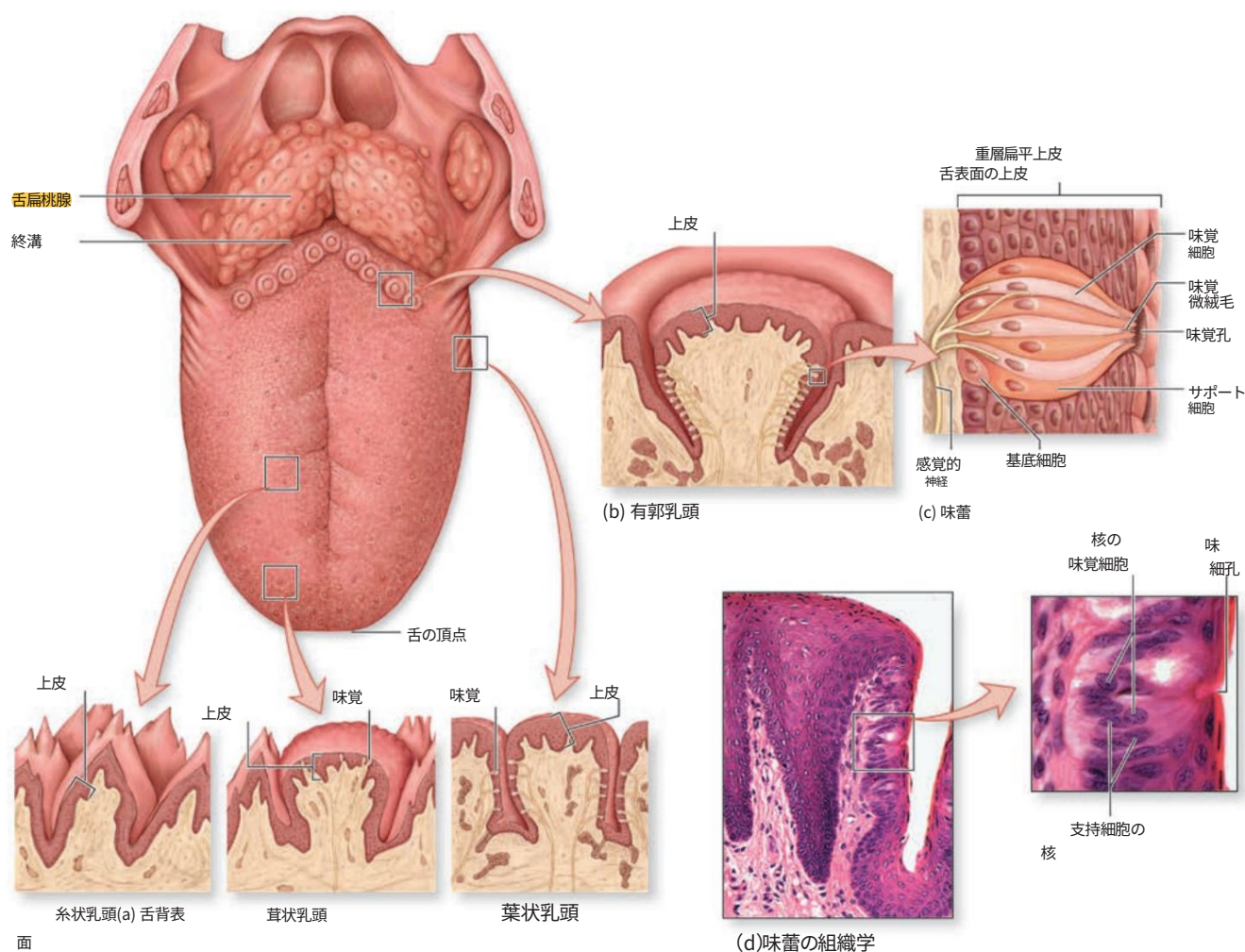
## Tongue

The tongue is a mass of striated muscle covered by mucosa, which manipulates ingested material during mastication and swallowing. The muscle fibers are oriented in all directions, allowing a high level of mobility. Connective tissue between the small fascicles of muscle is penetrated by the lamina propria, which makes the mucous membrane strongly adherent to the muscular core. The lower surface of the tongue is smooth, with typical lining mucosa. The dorsal surface is irregular, having hundreds of small protruding **papillae** of various types on its anterior two-thirds and the massed lingual tonsils on the posterior third, or root of the tongue (Figure 15–4). The papillary and tonsillar areas of the lingual surface are separated by a V-shaped groove called the **sulcus terminalis**.

The lingual papillae are elevations of the mucous membrane that assume various forms and functions. There are four types (Figure 15–4):



図15-4舌、舌乳頭、味蕾。



舌の背面(a)では、舌の後ろ 3 分の 1 に舌扁桃腺があり、前部には4 種類の舌乳頭が多数あります。尖った糸状乳頭は、咀嚼中に食べ物を動かす摩擦力を高めます。舌の両側にある隆起状の葉状乳頭は、幼児に最もよく発達しています。茸状乳頭は背面全体に散在し、8~12 個の大きな有郭乳頭 (b)が終末溝の近くに V 字型に並んでいます。味蕾は茸状乳頭と葉状乳頭にありますが、有郭乳頭のほうがはるかに豊富です。

(c)単一の味蕾の図には、味覚細胞、機能が十分に解明されていない支持細胞、および基底幹細胞が示されています。味覚細胞の端にある微絨毛は、上皮の開口部である味孔から突き出ています。

気孔感覚軸索は味蕾の基底端に入り、味覚細胞とシナプスを形成します。舌表面の重層扁平上皮では、味蕾は低倍率でも組織学的に認識できる明確な細胞クラスターとして形成されます(d)。高倍率では、味孔だけでなく、味覚細胞と支持細胞の細長い核も見える場合があります。(140 倍および 500 倍、H&E)

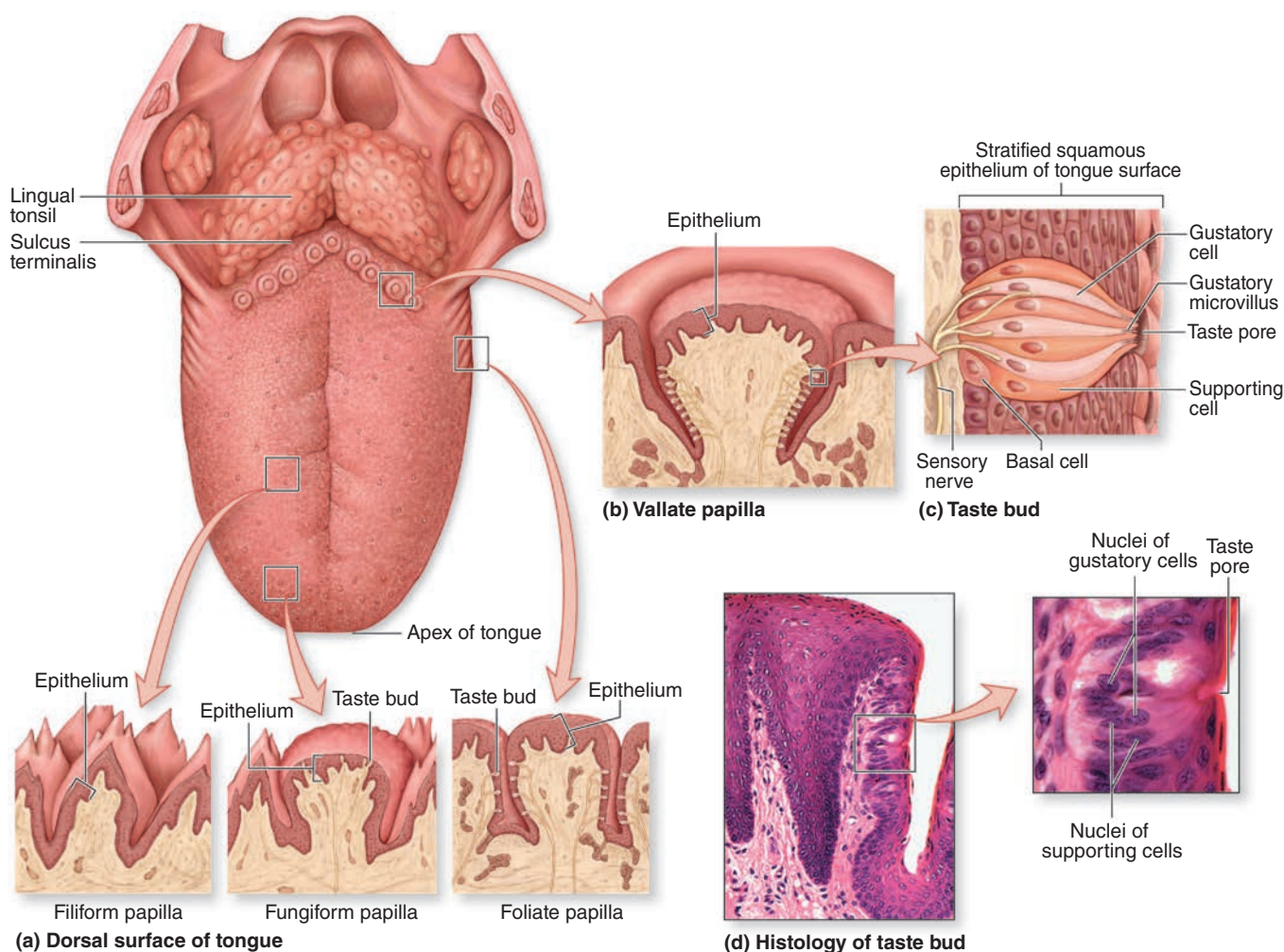
■**糸状乳頭** (図15-5)は非常に数が多く、歯は細長く、円錐形をしており、角質化が進んでいるため、表面は灰色または白っぽい外観をしています。歯の表面はざらざらしており、咀嚼中に食べ物が動きやすくなります。

■**茸状乳頭** (図15-5)ははるかに少ない多数あり、軽く角質化しており、葉状乳頭の間に散在している。キノコ型で、血管が発達し神経支配された板状核を持つ。

固有。

■**葉状乳頭**は舌の両側、終溝の前方にあるいくつかの平行な隆起から構成されていますが、人間、特に高齢者では原始的なものです。

■**有郭乳頭 (または有郭円乳頭)** (図 15-5)は、直径 1 ~ 3 mm の最も大きな乳頭です。8 ~ 12 個の有郭乳頭が通常、終末溝のすぐ前に並んでいます。いくつかの小さな漿液性唾液腺 (フォン エブナー腺)の管が、各有郭乳頭を囲む深い堀のような溝に流れ込んでいます。

**FIGURE 15-4** Tongue, lingual papillae, and taste buds.

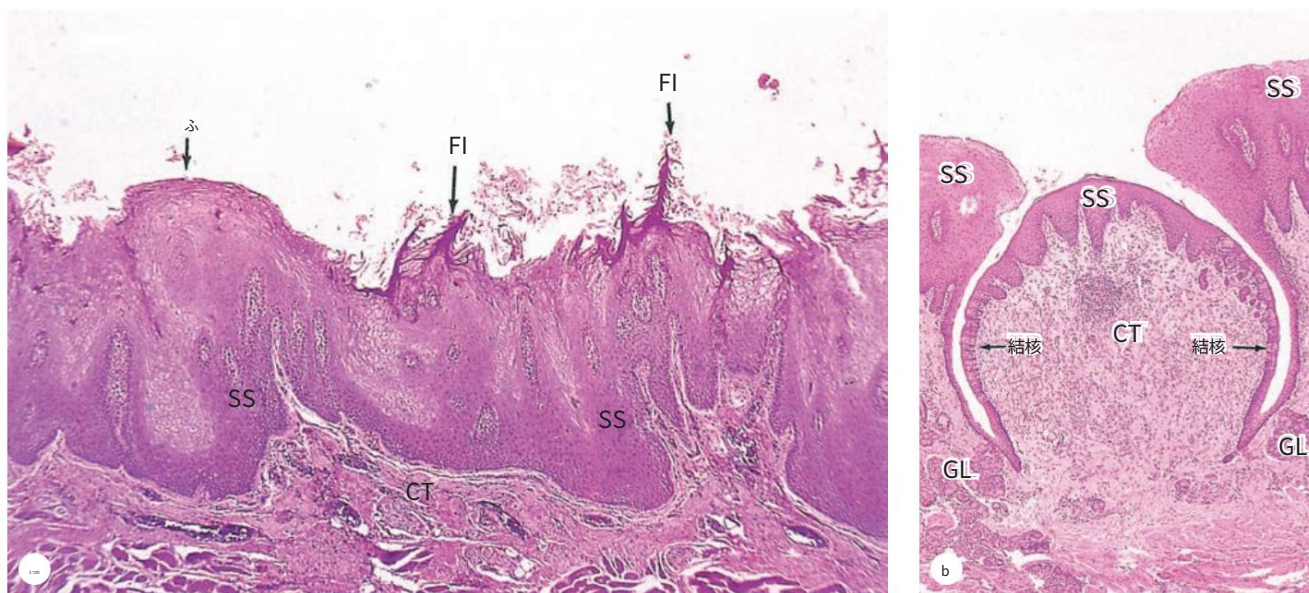
On its dorsal surface (a), the posterior third of the tongue has the **lingual tonsils** and the anterior portion has numerous **lingual papillae** of four types. Pointed **filiform papillae** provide friction to help move food during chewing. Ridge-like **foliate papillae** on the sides of the tongue are best developed in young children. **Fungiform papillae** are scattered across the dorsal surface, and 8-12 large **vallate papillae** (b) are present in a V-shaped line near the terminal sulcus. **Taste buds** are present on fungiform and foliate papillae but are much more abundant on vallate papillae.

(c) Diagram of a single taste bud shows the **gustatory (taste) cells**, the **supporting cells** whose function is not well understood, and the basal **stem cells**. Microvilli at the ends of the gustatory cells project through an opening in the epithelium, the **taste pore**. Afferent sensory axons enter the basal end of taste buds and synapse with the gustatory cells. In the stratified squamous epithelium of the tongue surface, taste buds form as distinct clusters of cells recognizable histologically even at low magnification (d). At higher power the taste pore may be visible, as well as the elongated nuclei of gustatory and supporting cells. (140X and 500X; H&E)

- **Filiform papillae** (Figure 15-5) are very numerous, have an elongated conical shape, and are heavily keratinized, which gives their surface a gray or whitish appearance. They provide a rough surface that facilitates movement of food during chewing.
- **Fungiform papillae** (Figure 15-5) are much less numerous, lightly keratinized, and interspersed among the filiform papillae. They are mushroom-shaped with well-vascularized and innervated cores of lamina propria.
- **Foliate papillae** consist of several parallel ridges on each side of the tongue, anterior to the sulcus terminalis, but are rudimentary in humans, especially older individuals.
- **Vallate (or circumvallate) papillae** (Figure 15-5) are the largest papillae, with diameters of 1-3 mm. Eight to twelve vallate papillae are normally aligned just in front of the terminal sulcus. Ducts of several small, serous **salivary (von Ebner) glands** empty into the deep, moatlike groove surrounding each vallate papilla.



図15-5舌乳頭。



(a)舌背部の断面。舌乳頭は、リフォーム乳頭(FI)と茸状乳頭(F)の両方を示しています。どちらのタイプも、重層扁平上皮(SS)で覆われた結合組織(CT)の隆起ですが、リフォーム乳頭は尖っていて角質化が激しいのに対し、茸状乳頭はキノコ型で、角質化が軽く、味蕾が少数です。

(b)顕微鏡写真には、2つの特徴を持つ1つの非常に大きな有郭乳頭が写っています。側面には多数の味蕾(TB)があり、乳頭を取り囲む隆起した粘膜によって形成された裂溝または溝に排出されるいくつかの小さな唾液腺(GL)があります。これらの腺は、裂溝を継続的に押し流し、味蕾と接触する液体を更新します。(両方とも X20、H&E)

#### 味蕾に液体が継続的に流れ込む

これらの乳頭の側面には、味蕾が新しい味覚刺激を受け取って処理できるように、食物粒子を洗い流す働きをするタンパク質が豊富に含まれています。これらのタンパク質や、味蕾に関連するその他の小唾液腺からの分泌物には、味覚を妨げる疎水性膜がこれらの構造上に形成されるのを防ぐリパーゼが含まれています。

**味蕾**は舌表面の重層上皮内にある卵形の構造で、摂取した物質の一般的な化学組成をサンプリングします(図15-4および15-5)。約250個の味蕾が各有郭乳頭の外側表面に存在し、その他多くの味蕾が茸状乳頭や葉状乳頭(角質化した鉤状乳頭には存在しない)に存在します。味蕾は乳頭に限定されず、舌の背側および外側表面の他の場所にも広く散在しており、そこでは多数の小唾液腺によって絶えず押し出されています。

味蕾には50~100個の細胞があり、その約半分は細長い**味覚細胞**で、7~10日の寿命で入れ替わります。その他の細胞は、細い**支持細胞**、未熟細胞、そして他の細胞種を生み出すゆっくりと分裂する**基底幹細胞**です。各味蕾の基底は基板上にあり、そこから侵入する感覚軸索が入ります。

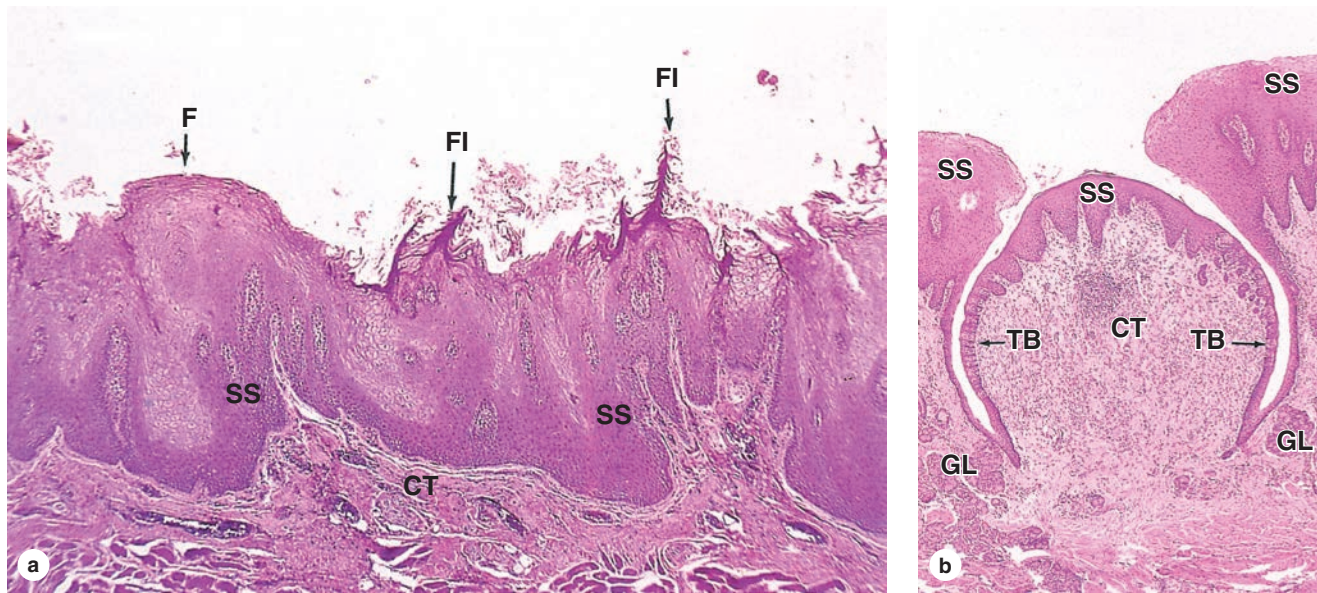
味覚細胞とシナプスを形成します。味覚細胞の先端では、微絨毛が味孔と呼ばれる構造の2  $\mu\text{m}$  幅の開口部に向かって突出しています。唾液に溶解した分子(味物質)は、この孔を通じて微絨毛と接触し、細胞表面の味覚受容体と相互作用します(図15-4)。

味蕾は少なくとも5つの広範なカテゴリーの味覚物質を感知します。ナトリウムイオン(塩味)、酸からの水素イオン(酸味)、糖類および関連化合物(甘味)、アルカロイドおよび特定の毒素(苦味)、グルタミン酸やアスパラギン酸などのアミノ酸(うま味、日本語では「うま味」)です。塩味と酸味はイオンチャネルによって生成され、他の3つの味覚カテゴリーはGタンパク質結合受容体によって媒介されます。受容体結合により味覚細胞の脱分極が生じ、情報を脳に伝達して処理する感覚神経線維が刺激されます。食品の味を意識的に知覚するには、味蕾の活動に加えて、嗅覚やその他の感覚が必要です。

#### 歯

成人の**永久歯は通常32本あり**、上顎骨と下顎骨に左右対称の2つのアーチ状に並んでいます(図15-6a)。各象限には8本の歯があり、切歯2本、犬歯1本、小臼歯2本、永久臼歯3本です。永久歯のうち20本は、

FIGURE 15-5 Lingual papillae.



(a) Section of the dorsal surface of tongue showing both filiform (FI) and fungiform papillae (F). Both types are elevations of the connective tissue (CT) covered by stratified squamous epithelium (SS), but the filiform type is pointed and heavily keratinized while the fungiform type is mushroom-shaped, lightly keratinized, and has a few taste buds.

(b) Micrograph shows a single very large vallate papilla with two distinctive features: many taste buds (TB) around the sides and several small salivary glands (GL) emptying into the cleft or moat formed by the elevated mucosa surrounding the papilla. These glands continuously flush the cleft, renewing the fluid in contact with the taste buds. (Both X20; H&E)

This provides a continuous flow of fluid over the taste buds that are abundant on the sides of these papillae, washing away food particles so that the taste buds can receive and process new gustatory stimuli. Secretions from these and other minor salivary glands associated with taste buds contain a lipase that prevents the formation of a hydrophobic film on these structures that would hinder gustation.

**Taste buds** are ovoid structures within the stratified epithelium on the tongue's surface, which sample the general chemical composition of ingested material (Figures 15-4 and 15-5). Approximately 250 taste buds are present on the lateral surface of each vallate papilla, with many others present on fungiform and foliate (but not the keratinized filiform) papillae. They are not restricted to papillae and are also widely scattered elsewhere on the dorsal and lateral surfaces of the tongue, where they are also continuously flushed by numerous minor salivary glands.

A taste bud has 50-100 cells, about half of which are elongated **gustatory (taste) cells**, which turn over with a 7- to 10-day life span. Other cells present are slender **supportive cells**, immature cells, and slowly dividing basal **stem cells** that give rise to the other cell types. The base of each bud rests on the basal lamina and is entered by afferent sensory axons that

form synapses with the gustatory cells. At the apical ends of the gustatory cells, microvilli project toward a 2- $\mu$ m-wide opening in the structure called the **taste pore**. Molecules (tastants) dissolved in saliva contact the microvilli through the pore and interact with cell surface taste receptors (Figure 15-4).

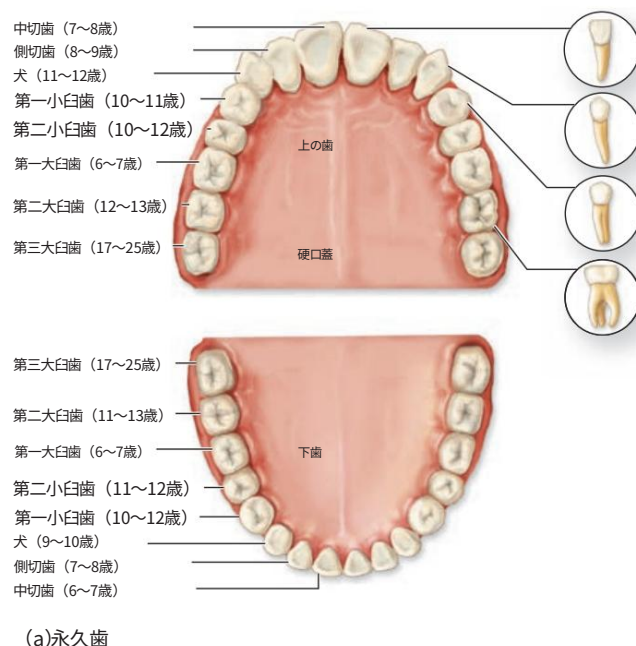
Taste buds detect at least five broad categories of tastants: sodium ions (salty); hydrogen ions from acids (sour); sugars and related compounds (sweet); alkaloids and certain toxins (bitter); and amino acids such as glutamate and aspartate (umami; Jap. *umami*, savory). Salt and sour tastes are produced by ion channels, and the other three taste categories are mediated by G-protein-coupled receptors. Receptor binding produces depolarization of the gustatory cells, stimulating the sensory nerve fibers that transmit information to the brain for processing. Conscious perception of tastes in food requires olfactory and other sensations in addition to taste bud activity.

## Teeth

In the adult human there are normally 32 **permanent teeth**, arranged in two bilaterally symmetric arches in the maxillary and mandibular bones (Figure 15-6a). Each quadrant has eight teeth: two incisors, one canine, two premolars, and three permanent molars. Twenty of the permanent teeth are preceded by



図15-6歯。



すべての歯は発生学的にも組織学的にも類似しています。

(a) 永久歯の歯列と、各歯のおおよその生えてくる年齢を示します。

(b) 大臼歯の内部構造の図は、他の歯と同様、エナメル質で覆われた歯冠、セメント質で覆われた歯根を持ちます。

歯を顎の歯槽骨に固定し、わずかに

エナメル質とセメント質の被覆が歯肉で接する部分の狭窄した頸部。歯根と頸部の大部分は象牙質で構成されています。

歯髄腔は歯頸部まで伸びており、血管と神経が豊富な間葉系結合組織で満たされています。血管と神経は、歯根の先端にある根尖孔から歯に入ります。歯周靱帯は歯を顎の骨に固定します。

乳歯は抜け落ちる歯（乳歯）で、その他は乳歯の前駆歯のない永久歯です。各歯には歯冠が歯肉の上に露出しており、歯茎の部分で狭くなった歯頸部と、歯槽と呼ばれる顎の骨のソケットに完全に固定された1本以上の歯根があります（図15-6b）。

歯冠は非常に硬い無細胞エナメル質で覆われ、歯根はセメント質と呼ばれる骨のような組織で覆われています。この2つの被覆は歯頸部で合流します。歯の大部分は、内部の歯髄腔を取り囲む別の石灰質である象牙質で構成されています（図15-6b）。歯髄

歯周組織は血管が豊富で神経支配が強く、主にゆるい間葉系結合組織で構成され、基質、薄いコラーゲン繊維、線維芽細胞、間葉系幹細胞が多く含まれています。歯髄腔は各根の中で根管として狭くなり、根管は各根の先端にある歯髄腔の血管、リンパ管、神経の開口部（根尖孔）まで伸びています。歯周靱帯は、セメント質と歯槽骨の両方に挿入されたコラーゲン繊維の束状の結合組織束です。

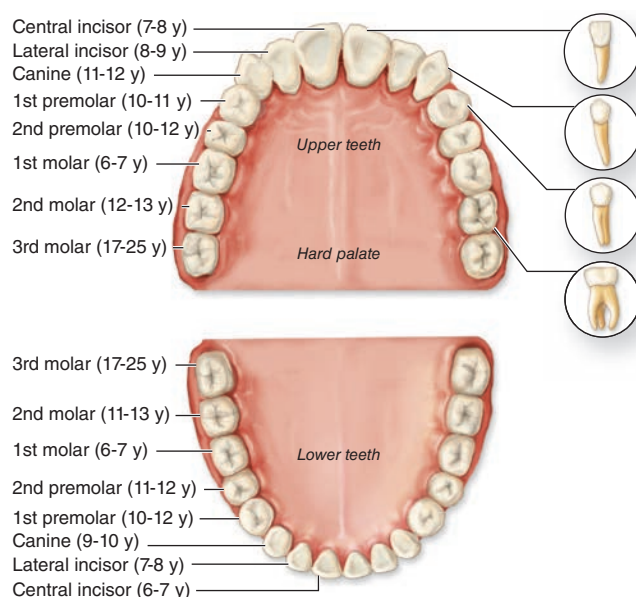
## 象牙質

象牙質は骨よりも硬い石灰化した組織で、70%がハイドロキシアパタイトで構成されています。有機マトリックスには、歯髄腔の内側を覆う頭蓋神経堤由来の背の高い極性細胞である象牙芽細胞の先端から分泌されるI型コラーゲンとプロテオグリカンが含まれています（図15-7a）。象牙芽細胞によって分泌される象牙前質マトリックスの石灰化には、骨形成中に類骨で起こるのと同様のプロセスでマトリックス小胞が関与します（第8章を参照）。

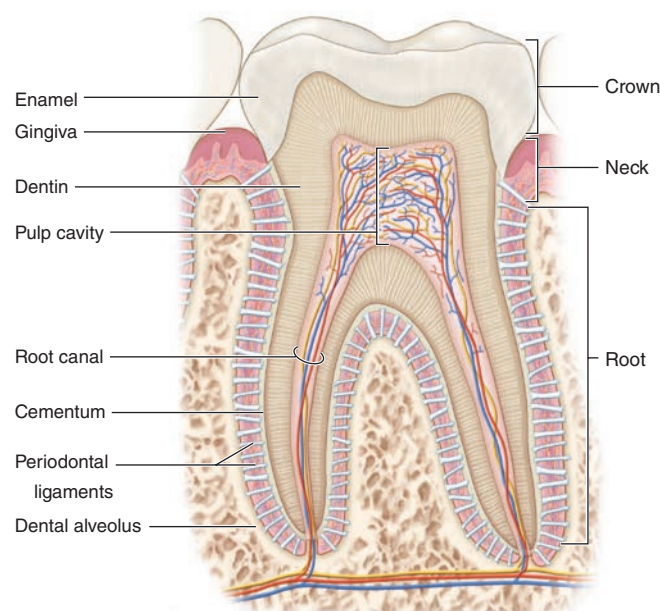
長い根尖象牙芽細胞突起は象牙細管内の象牙芽細胞から伸びており（図15-7b）、象牙質の全層を貫通し、象牙質が厚くなるにつれて徐々に長くなります。その長さに沿って、突起は細管のより小さな側枝に分岐します（図15-7c）。象牙芽細胞突起は象牙質マトリックスの維持に重要です。象牙芽細胞は成人期まで象牙前質の生産を続け、徐々に歯髄腔の大きさを縮小し、歯が損傷した場合は象牙質を修復するように刺激されます。



FIGURE 15-6 Teeth.



(a) Permanent teeth



(b) Molar

All teeth are similar embryologically and histologically.

(a) The dentition of the permanent teeth is shown, as well as the approximate age at eruption for each tooth.

(b) Diagram of a molar's internal structure is similar to that of all teeth, with an enamel-covered **crown**, cementum-covered **roots** anchoring the tooth to alveolar bone of the jaw, and a slightly

constricted **neck** where the **enamel** and **cementum** coverings meet at the gingiva. Most of the roots and neck consists of **dentin**. A **pulp cavity** extends into the neck and is filled with well-vascularized, well-innervated mesenchymal connective tissue. Blood vessels and nerves enter the tooth through apical foramina at the root tips. **Periodontal ligaments** hold the tooth to bone of the jaw.

**primary teeth** (deciduous or milk teeth) that are shed; the others are permanent molars with no deciduous precursors. Each tooth has a **crown** exposed above the gingiva, a constricted **neck** at the gum, and one or more **roots** that fit firmly into bony sockets in the jaws called **dental alveoli** (Figure 15-6b).

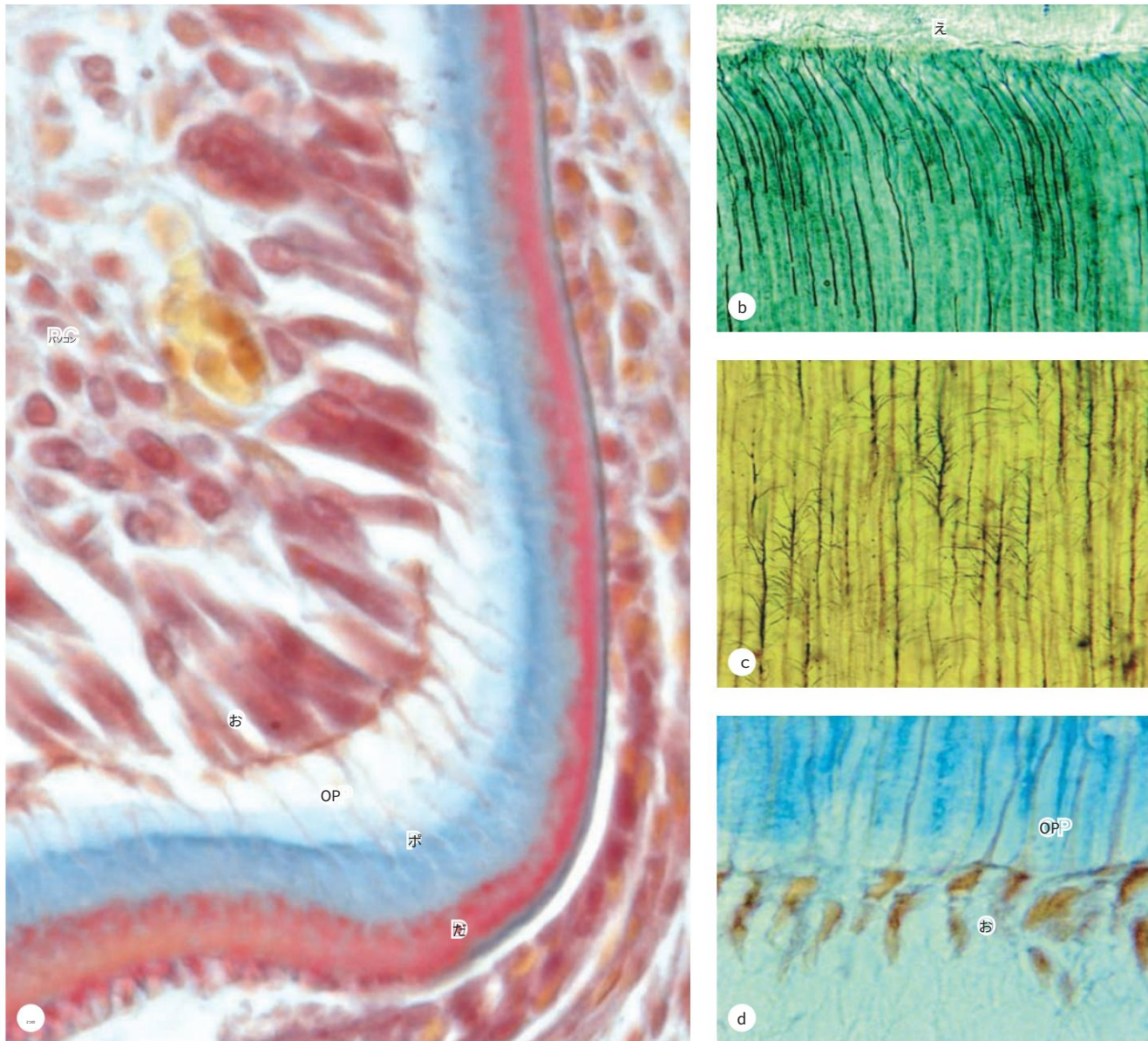
The crown is covered by very hard, acellular **enamel** and the roots by a bone-like tissue called **cementum**. These two coverings meet at the neck of the tooth. The bulk of a tooth is composed of another calcified material, **dentin**, which surrounds an internal **pulp cavity** (Figure 15-6b). **Dental pulp** is highly vascular and well-innervated and consists largely of loose, mesenchymal connective tissue with much ground substance, thin collagen fibers, fibroblasts, and mesenchymal stem cells. The pulp cavity narrows in each root as the **root canal**, which extends to an opening (**apical foramen**) at the tip of each root for the blood vessels, lymphatics, and nerves of the pulp cavity. The **periodontal ligaments** are fibrous connective tissue bundles of collagen fibers inserted into both the cementum and the alveolar bone.

## Dentin

**Dentin** is a calcified tissue harder than bone, consisting of 70% hydroxyapatite. The organic matrix contains type I collagen and proteoglycans secreted from the apical ends of **odontoblasts**, tall polarized cells derived from the cranial neural crest that line the tooth's pulp cavity (Figure 15-7a). Mineralization of the **predentin** matrix secreted by odontoblasts involves matrix vesicles in a process similar to that occurring in osteoid during bone formation (see Chapter 8).

Long apical **odontoblast processes** extend from the odontoblasts within **dental tubules** (Figure 15-7b), which penetrate the full thickness of the dentin, gradually becoming longer as the dentin becomes thicker. Along their length, the processes extend fine branches into smaller lateral branches of the tubules (Figure 15-7c). The odontoblast processes are important for the maintenance of dentin matrix. Odontoblasts continue predentin production into adult life, gradually reducing the size of the pulp cavity, and are stimulated to repair dentin if the tooth is damaged.

図15-7象牙質と象牙芽細胞。



(a)象牙芽細胞(O)は、発達中の歯髓腔(PC)の中葉組織に由来する長い極性細胞です。象牙芽細胞はコラーゲンとGAGの合成に特化しており、基底膜のない層として接合複合体によって結合しているため、象牙質表面の先端からのみ、コラーゲンに富む基質である象牙前質(P)が分泌されます。分泌後約1日以内に、象牙前質は、発達中の骨の類骨で起こるプロセスに似たプロセスでハイドロキシアパタイト結晶が形成されるため、石灰化して象牙質(D)になります(第8章を参照)。このプロセスでは、コラーゲンがマスクされ、石灰化した基質は酸性に非常に強くなり、象牙前質とはまったく異なる染色になります。象牙前質の分泌が始まると、各細胞から先端が伸びて象牙芽細胞突起(OP)が形成され、新しい基質に囲まれます。象牙質-象牙前質層が厚くなると、これらの突起は長くなります。

歯の形成が完了し、象牙芽細胞は存続し、その突起は象牙質の全層を貫く象牙細管と呼ばれる管内で維持される。(X400; マリリー トリクローム)

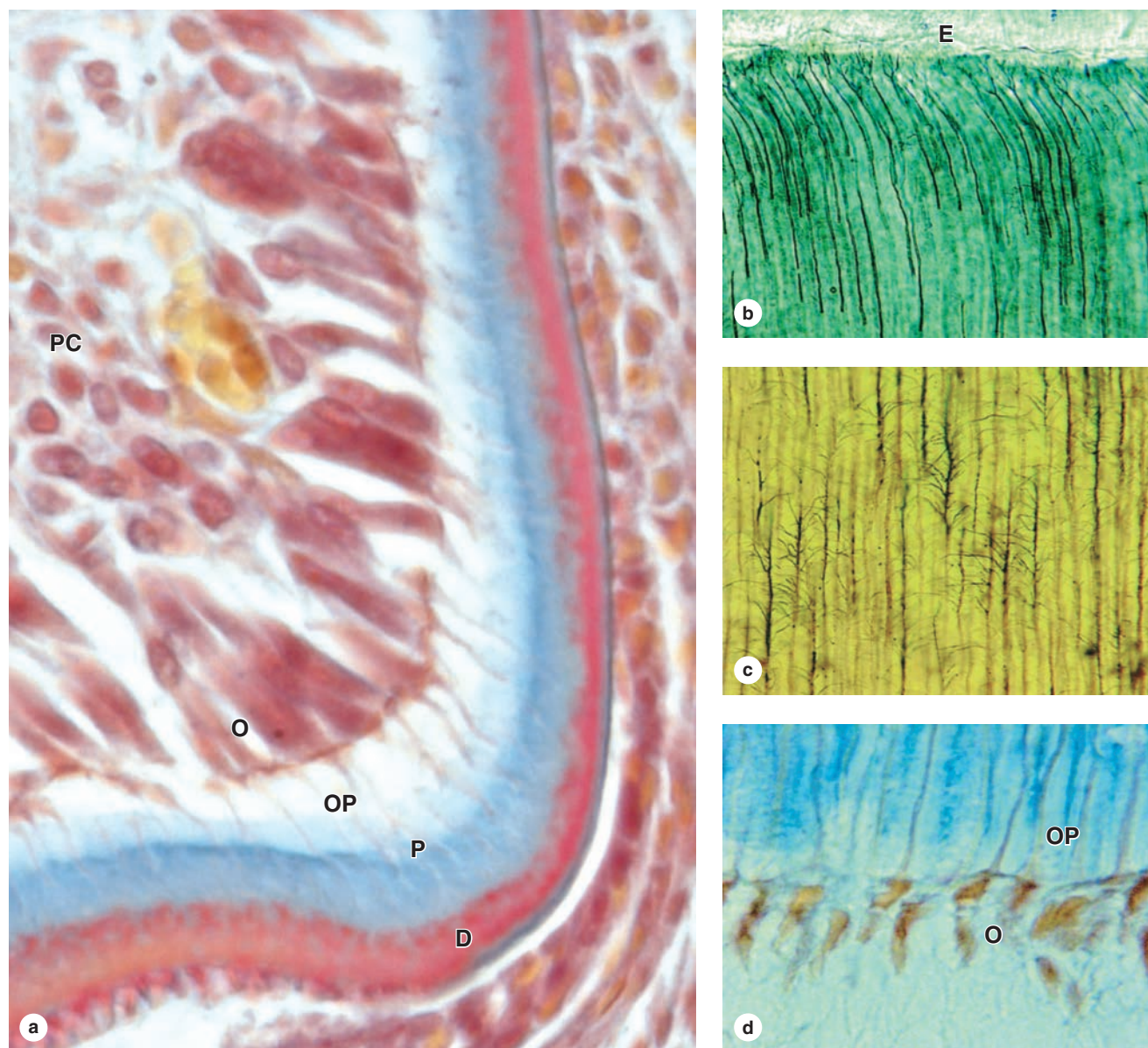
(b)象牙芽細胞突起は銀染色で、象牙質とエナメル質の接合部付近で分岐していること(E)、および発生源に近い長さに沿って分岐していること(c)が示され、側枝は象牙質内のより小さな小管を占めている。(両方とも X400、銀)

(d)染色された核で示されている象牙芽細胞(O)への象牙芽細胞突起(OP)の結合は、成人の歯の象牙質の維持に重要です。(X400; マリリー トリクローム)

(図15-7b,c,dは、ブラジルのサンパウロ大学生物医学研究所組織学・発生学部のMF Santos氏の許可を得て使用しています。)



FIGURE 15-7 Dentin and odontoblasts.



(a) Odontoblasts (O) are long polarized cells derived from mesenchyme of the developing pulp cavity (PC). Odontoblasts are specialized for collagen and GAG synthesis and are bound together by junctional complexes as a layer, with no basal lamina, so that a collagen-rich matrix called predentin (P) is secreted only from their apical ends at the dentinal surface. Within approximately 1 day of secretion, predentin mineralizes to become dentin (D) as hydroxyapatite crystals form in a process similar to that occurring in osteoid of developing bones (see Chapter 8). In this process the collagen is masked, and calcified matrix becomes much more acidophilic and stains quite differently than that of predentin. When predentin secretion begins, an apical extension from each cell, the odontoblast process (OP), forms and is surrounded by new matrix. As the dentin-predentin layer thickens, these processes lengthen. When

tooth formation is complete, odontoblasts persist and their processes are maintained in canals called **dentinal tubules**, which run through the full thickness of the dentin. (X400; Mallory trichrome)

(b) Odontoblast processes can be silver-stained and shown to branch near the junction of dentin with enamel (E) and along their length closer to their source (c), with the lateral branches occupying smaller canaliculi within dentin. (Both X400; Silver)

(d) These odontoblast process (OP) connections to the odontoblasts (O), shown with stained nuclei here, are important for the maintenance of dentin in adult teeth. (X400; Mallory trichrome)

(Figure 15-7b, c, and d, used with permission from M. F. Santos, Department of Histology and Embryology, Institute of Biomedical Sciences, University of São Paulo, Brazil.)

歯は、冷たさ、熱さ、酸性 pH などの刺激に敏感で、これらはすべて痛みとして知覚されます。歯髄は神経支配が強く、無髄神経線維が歯髄腔付近の象牙芽細胞突起とともに歯細管まで伸びています (図 15-8)。

このような刺激は象牙質管内の液体に影響を及ぼし、神経線維を刺激して歯の敏感さを引き起こします。

#### 医療用途

口腔内の免疫防御は、すべての感染を防ぐことはできません。咽頭炎や扁桃炎は、化膿連鎖球菌という細菌が原因であることが多いです。舌の側面の白い突起物や白板症は、エプスタイン・バーウイルスが原因である可能性があります。舌の背面の白い滲出液である口腔カンジダ症は、酵母菌（カンジダ・アルビカンス）感染が原因であり、通常は新生児や免疫不全患者に影響を及ぼします。

### エナメル

**エナメル質**は人体で最も硬い成分で、96% がカルシウム ハイドロキシアパタイト、2%~3% が有機物で構成されており、タンパク質はほとんど含まれず、コラーゲンは含まれていません。フッ化物などの他のイオンは、ハイドロキシアパタイト結晶に取り込まれたり、吸着されたりします。フッ化物を含むエナメル質は、微生物による酸による溶解に対してより耐性があるため、歯磨き粉や給水にはフッ化物が添加されています。

エナメル質は、**エナメル桿体**（または柱状体）と呼ばれる均一で絡み合った柱で構成されており、それぞれの直径は約5μmで、

エナメル質は薄い別の層で囲まれています。各エナメル質棒はエナメル層の厚さ全体にわたって伸びており、平均 2 mm です。エナメル質棒の正確で連結された配置は、エナメル質の硬さと咀嚼中の大きな圧力に対する抵抗力にとって非常に重要です。

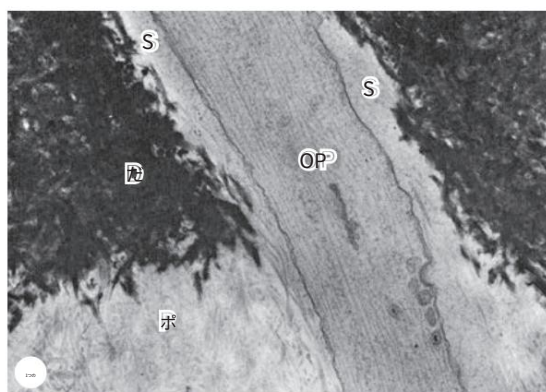
発達中の歯芽では、エナメル質小体の基質は背の高い極性細胞である**エナメル芽細胞**によって分泌される。

(図 15-9a) は、歯芽にあるエナメル器と呼ばれる特殊な上皮の一部です。エナメル芽細胞の先端は象牙芽細胞の先端と向き合っており、象牙質前質を形成します (図 15-10)。各エナメル芽細胞から先端に伸びた部分、**エナメル芽細胞（またはトームス）突起**には、エナメル質マトリックスのタンパク質を含む分泌顆粒が多数含まれています。分泌されたマトリックスは急速に石灰化します。ハイドロキシアパタイト結晶の成長を促し、エナメル質ロッドが伸びていく過程は、**発達中のエナメル質の主な構造タンパク質である小さな (20 kDa) タンパク質アモロゲン**によって制御されます。

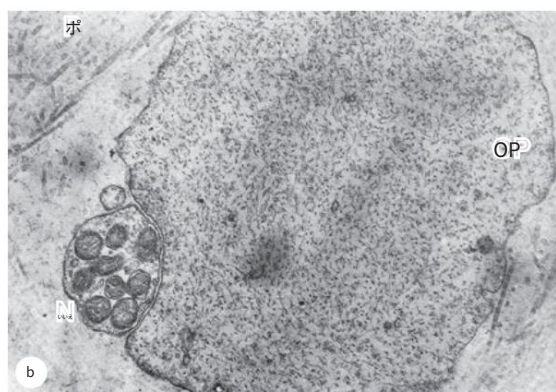
エナメル芽細胞は胎児の口腔の外胚葉の内層から発生し、象牙芽細胞と歯髄腔のほとんどの組織はそれぞれ神経堤細胞と中胚葉から発生します。これらの組織は、発達中の口腔内に 52 個の歯芽（乳歯の場合は 20 個、二次歯または永久歯の場合は 32 個）を形成します。

乳歯は生後約 6 か月で発育が完了し、萌出が始まります。図 15-10a に示すように、二次歯の発育は「鐘状期」で停止し、約 6 歳になると乳歯が抜け落ちるとともに二次歯が萌出を開始します。

図15-8象牙質管の超微細構造。



(a) TEM では、象牙質(D)と、まだ石灰化していない象牙前質(P)の境界で石灰化が見られます。象牙細管内の液体で満たされた空間(S)には、微細管と少数の分泌小胞を伴う象牙芽細胞突起(OP)が見られます。突起は各象牙芽細胞から伸びており、細管は象牙質層を完全に横切って続いています。(X32,000)



(b)象牙芽細胞突起(OP)の象牙質前層(P)付近の透過型電子顕微鏡断面は、歯髄腔内の神経線維から伸びる無髄神経線維(N)との密接な関係を示しています。これらの神経は、寒さなどのさまざまな刺激に反応し、象牙質細管を通して神経線維に達します。(X61,000)



Teeth are sensitive to stimuli such as cold, heat, and acidic pH, all of which can be perceived as pain. Pulp is highly innervated, and unmyelinated nerve fibers extend into the dental tubules along with odontoblast processes near the pulp cavity (Figure 15–8). Such stimuli can affect fluid inside the dentinal tubules, stimulating these nerve fibers and producing tooth sensitivity.

### » MEDICAL APPLICATION

Immune defenses in the oral cavity cannot protect against all infections. **Pharyngitis** and **tonsillitis** are often due to the bacterium *Streptococcus pyogenes*. White excrescences or **leukoplakia** on the sides of the tongue can be caused by Epstein-Barr virus. **Oral thrush**, a white exudate on the tongue's dorsal surface, is due to a yeast (*Candida albicans*) infection and usually affects neonates or immunocompromised patients.

## Enamel

**Enamel** is the hardest component of the human body, consisting of 96% calcium hydroxyapatite and only 2%–3% organic material including very few proteins and no collagen. Other ions, such as fluoride, can be incorporated or adsorbed by the hydroxyapatite crystals; enamel containing fluorapatite is more resistant to acidic dissolution caused by microorganisms, hence the addition of fluoride to toothpaste and water supplies.

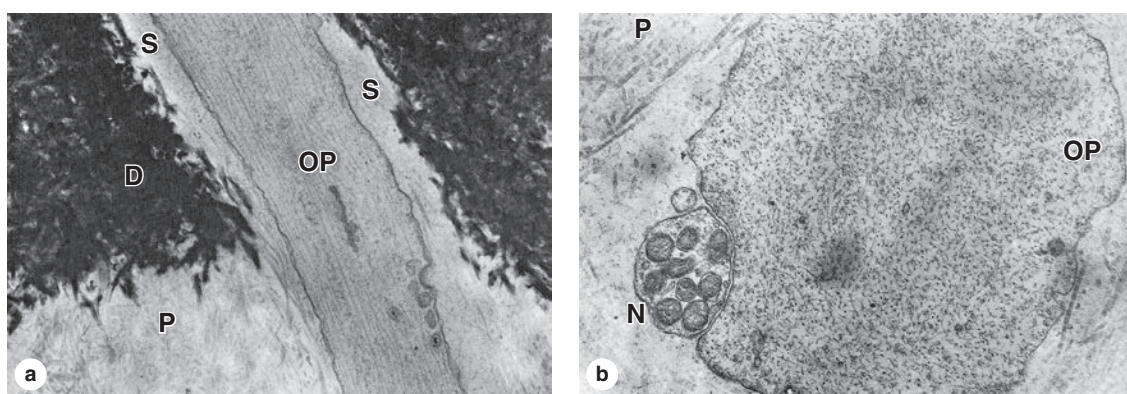
Enamel consists of uniform, interlocking columns called **enamel rods** (or prisms), each about 5  $\mu\text{m}$  in diameter and

surrounded by a thinner layer of other enamel. Each rod extends through the entire thickness of the enamel layer, which averages 2 mm. The precise, interlocked arrangement of the enamel rods is crucial for enamel's hardness and resistance to great pressures during mastication.

In a developing tooth bud, the matrix for the enamel rods is secreted by tall, polarized cells, the **ameloblasts** (Figure 15–9a), which are part of a specialized epithelium in the tooth bud called the **enamel organ**. The apical ends of the ameloblasts face those of the odontoblasts producing predentine (Figure 15–10). An apical extension from each ameloblast, the **ameloblast (or Tomes) process**, contains numerous secretory granules with the proteins of the enamel matrix. The secreted matrix undergoes very rapid mineralization. Growth of the hydroxyapatite crystals to produce each elongating enamel rod is guided by a small (20 kDa) protein **amelogenin**, the main structural protein of developing enamel.

Ameloblasts are derived from the ectodermal lining of the embryonic oral cavity, while odontoblasts and most tissues of the pulp cavity develop from neural crest cells and mesoderm, respectively. Together, these tissues produce a series of 52 tooth buds in the developing oral cavity, 20 for the primary teeth and 32 for the secondary or permanent teeth. Primary teeth complete development and begin to erupt about 6 months after birth. Development of the secondary tooth buds arrests at the “bell stage,” shown in Figure 15–10a, until about 6 years of age, when these teeth begin to erupt as the primary teeth are shed.

FIGURE 15–8 Ultrastructure of dentinal tubule.

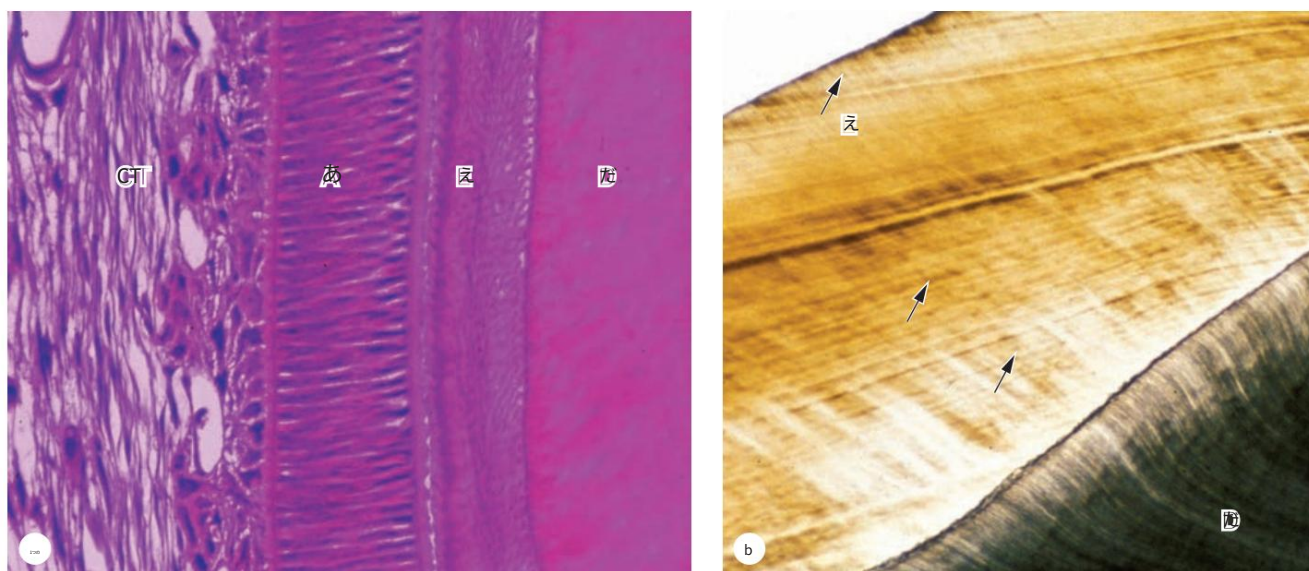


(a) TEM shows the calcification of dentin (D) at its border with not-yet calcified predentin (P). An odontoblast process (OP) with microtubules and a few secretory vesicles is seen in the fluid-filled space (S) in the dentinal tubule. A process extends from each odontoblast, and the tubules continue completely across the dentin layer. (X32,000)

(b) TEM cross section of an odontoblast process (OP) near predentin (P) shows its close association with an unmyelinated nerve fiber (N) extending there from fibers in the pulp cavity. These nerves respond to various stimuli, such as cold temperatures, reaching the nerve fibers through the dentinal tubules. (X61,000)



図15-9エナメル芽細胞とエナメル質。



(a) 歯芽のエナメル芽細胞(A)は、先端が象牙質(D)に最初に接触する背の高い極性細胞です。エナメル芽細胞は結合して、基底部を結合組織(CT)に囲まれた細胞層を形成します。象牙質芽細胞が象牙質前質を分泌するのに伴い、エナメル芽細胞はコラーゲンを欠いているが、アミノ酸などのタンパク質を豊富に含むマトリックスを分泌します。このタンパク質は、体内で最も硬い物質であるエナメル(E)を作るために、カルシウムハイドロキシアパタイトの形成を迅速に開始します。エナメルは層を形成しますが、エナメル桿体または柱状体で構成され、エナメル桿体によってしっかりと融合されています。各エナメル桿体は、1つのエナメル芽細胞の産物です。エナメルでは細胞プロセスは発生せず、エナメル芽細胞が取り囲む層は、

歯の萌出時に、形成中の歯冠が完全に失われます。組織切片作成のために脱灰された歯は、通常、エナメル層が完全に失われます。(X400; H&E)

(b) 歯を削って薄く切った標本の顕微鏡写真。象牙質(D)には細く長い管が見られ、エナメル質(E)にも同じように並んだ棒がかすかに(矢印)見られます。エナメル質を斜めに横切るより目立つ線は、エナメル質基質がエナメル芽細胞層によって周期的に分泌されるときに生じる増分成長線を表しています。(X400; 未染色)

#### 医療用途

歯周病には、歯肉炎、歯肉の炎症、より深い部位の炎症を伴う歯周炎が含まれます。これらはどちらも、口腔衛生が不十分な場合の細菌感染によって最も一般的に引き起こされます。慢性歯周炎は歯周靱帯を弱め、歯のぐらつきにつながる可能性があります。臨床歯科検査で測定される歯肉溝の深さは、潜在的な歯周病の重要な指標です。

#### 歯周組織

歯周組織は、上顎骨と下顎骨に歯を維持する役割を果たす構造で構成されており、セメント質、歯周靱帯、および関連する歯肉を伴う歯槽骨が含まれます。

(図15-6bおよび15-11)。

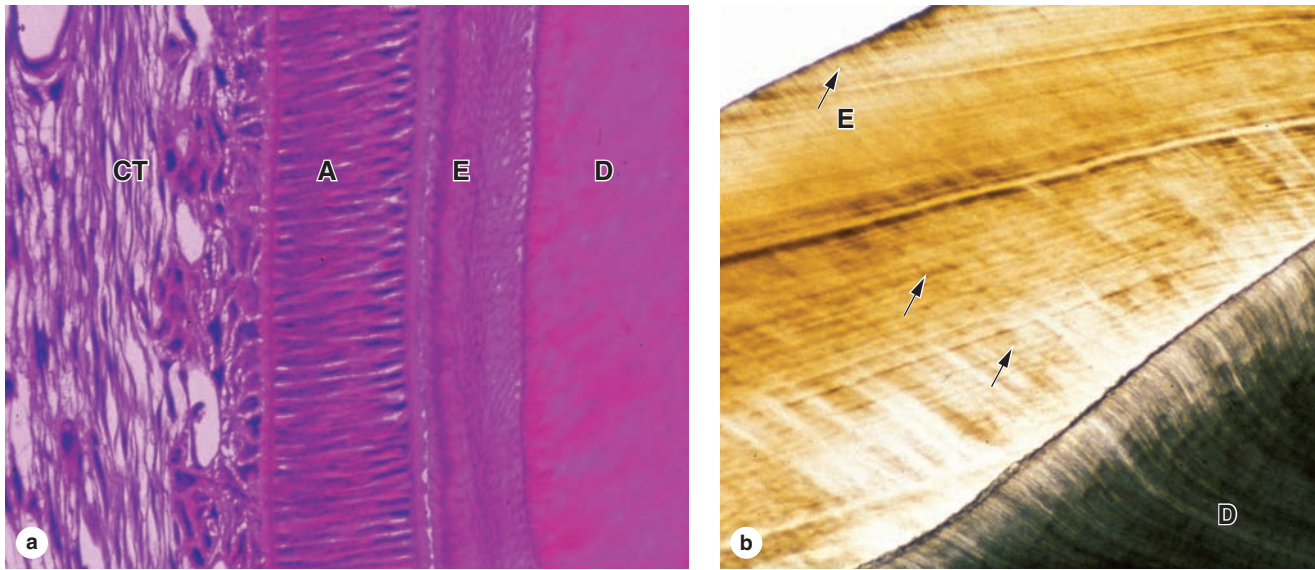
セメント質は歯根の象牙質を覆い、骨に似ていますが、血管がありません。セメント質は、特にセメント質表面付近で、小管内の突起を持つ小窩内にセメント質細胞が存在する歯根先端の周囲で最も厚くなります。

骨とは異なり、セメント質は周囲の基質を維持し、徐々に再構築することでストレスに反応します。

歯根膜は、束になったコラーゲン繊維(シャープ繊維)でセメント質と歯槽骨を結合する多孔質の結合組織です(図15-11)。一般的な靱帯と異なり、細胞が多く、血管や神経が豊富に存在し、歯を支える役割に加えて、感覚機能や栄養機能も担っています。歯根膜は、歯槽内での歯の限られた動きを可能にし、咀嚼中にかかる反復圧力から歯槽を保護します。歯根の厚さ(150~350 μm)は、歯根に沿ってほぼ均一ですが、加齢とともに薄くなります。

歯槽骨には成人の骨に典型的な層状パターンはありませんが、骨芽細胞と骨細胞が骨基質の継続的なモデリングに関与しています。歯槽骨は歯根膜に囲まれており、歯根膜が骨膜の役割を果たしています。歯根膜のコラーゲン線維束がこの骨を貫通し、セメント質に結合しています(図15-11c)。

歯周組織の周囲では、歯肉の角質化した口腔粘膜が上顎骨と下顎骨の骨膜にしっかりと結合している(図15-11)。エナメル質と歯肉上皮の間には、歯肉溝と呼ばれる溝がある。

**FIGURE 15–9 Ameloblasts and enamel.**

(a) In a section of tooth bud ameloblasts (A) are tall polarized cells whose apical ends initially contact dentin (D). Ameloblasts are joined to form a cell layer surrounded basally by connective tissue (CT). As odontoblasts secrete predentin, ameloblasts secrete a matrix lacking collagens, but rich in proteins such as amelogenin that quickly initiate calcium hydroxyapatite formation to make enamel (E), the hardest material in the body. Enamel forms a layer but consists of enamel rods or prisms, solidly fused together by more enamel. Each enamel rod represents the product of one ameloblast. No cellular processes occur in enamel, and the layer of ameloblasts surrounding

the developing crown is completely lost during tooth eruption. Teeth that have been decalcified for histologic sectioning typically lose their enamel layer completely. (X400; H&E)

(b) Micrograph of a thin preparation of a tooth prepared by grinding. Fine, long tubules can be observed in the dentin (D), and rods aligned the same way can be very faintly observed (arrows) in the enamel (E). The more prominent lines that cross enamel diagonally represent incremental growth lines produced as the enamel matrix is secreted cyclically by the ameloblast layer. (X400; Unstained)

### » MEDICAL APPLICATION

**Periodontal diseases** include **gingivitis**, inflammation of the gums, and **periodontitis**, which involves inflammation at deeper sites, both of which are caused most commonly by bacterial infections with poor oral hygiene. Chronic periodontitis weakens the periodontal ligament and can lead to loosening of the teeth. The depth of the gingival sulcus, measured during clinical dental examinations, is an important indicator of potential periodontal disease.

### Periodontium

The **periodontium** comprises the structures responsible for maintaining the teeth in the maxillary and mandibular bones, and includes the **cementum**, the **periodontal ligament**, and the **alveolar bone** with the associated **gingiva** (Figures 15–6b and 15–11).

**Cementum** covers the dentin of the root and resembles bone, but it is avascular. It is thickest around the root tip where **cementocytes** reside in lacunae with processes in canaliculi, especially near the cementum surface. Although less labile

than bone, cementocytes maintain their surrounding matrix and react to stresses by gradually remodeling.

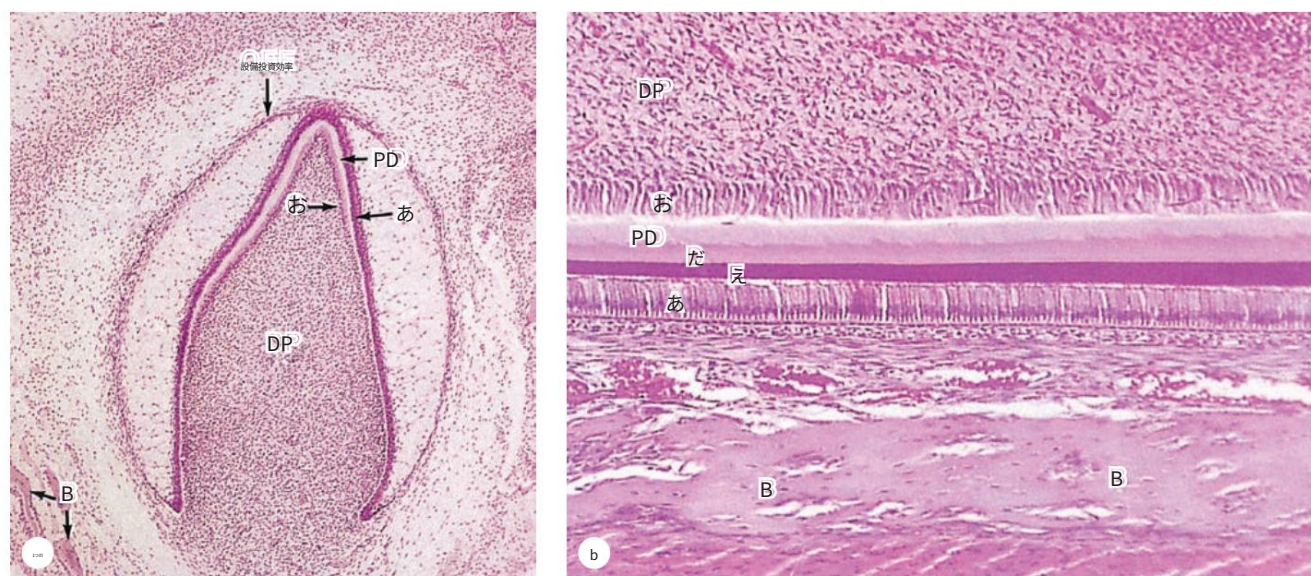
The **periodontal ligament** is fibrous connective tissue with bundled collagen fibers (Sharpey fibers) binding the cementum and the alveolar bone (Figure 15–11). Unlike typical ligaments, it is highly cellular and has a rich supply of blood vessels and nerves, giving the periodontal ligament sensory and nutritive functions in addition to its role in supporting the tooth. It permits limited movement of the tooth within the alveolus and helps protect the alveolus from the recurrent pressure exerted during mastication. Its thickness (150–350  $\mu\text{m}$ ) is fairly uniform along the root but decreases with aging.

The **alveolar bone** lacks the typical lamellar pattern of adult bone but has osteoblasts and osteocytes engaging in continuous remodeling of the bony matrix. It is surrounded by the periodontal ligament, which serves as its periosteum. Collagen fiber bundles of the periodontal ligament penetrate this bone, binding it to the cementum (Figure 15–11c).

Around the periodontium the keratinized oral mucosa of the **gingiva** is firmly bound to the periosteum of the maxillary and mandibular bones (Figure 15–11). Between the enamel and the gingival epithelium is the **gingival sulcus**, a groove



図15-10歯の形成。



歯の形成は、口腔の内壁を覆う外胚葉上皮が、発達中の顎の下層にある間葉組織に成長するときに、胎児期に始まります。将来の歯に対応する一連の部位で、これらの上皮細胞は広範囲に増殖し、エナメル器官として組織化されます。エナメル器官は、最初は茎が口腔の内壁に付いたままのフィングラスのような形をしています。エナメル芽細胞は、エナメル器官の最も内側の細胞層から形成されます。エナメル器官の凹部内の間葉細胞には神経堤細胞が含まれており、神経堤細胞は象牙芽細胞の層として分化し、その頂端がエナメル芽細胞の頂端と接触します。

(a)象牙質とエナメル質の生成が始まったエナメル器官の一部。エナメル芽細胞層(A)は、GAG が豊富で、広く離れた細胞が少ない厚い介在領域によって外エナメル上皮(OEE)から分離されています。エナメル器官の周囲は間葉組織で、その一部では膜内骨形成が始まります(B)。各エナメル器官の空洞内では、間葉細胞が歯乳頭(DP)を構成し、その最も外側の細胞は象牙芽細胞(O)の層です。

象牙芽細胞が象牙質前質 (PD)層を生成し始めると、これら2つの細胞層は離れ始めます。

象牙質との接触により、各エナメル芽細胞はエナメル小体の分泌を開始します。よりゆっくりと、石灰化した柱間エナメル質がすべてのエナメル小体を融合し、非常に強固な固体になります。(X20; H&E)

(b)エナメル器官の詳細。象牙質前質(PD)と象牙質層(D)、エナメル質層(E)、およびこれらの物質を生成する組織化された細胞層を示す。象牙芽細胞(O)は、歯髄腔となる歯乳頭(DP)の細胞間葉組織と接触している。エナメル芽細胞(A)は、発達中の骨(B)に非常に近い、今やはるかに薄いエナメル器官で顕著である。エナメル質の形成は歯の萌出直前まで続く。象牙質の形成は、歯の萌出後、歯が完全に形成されるまで続く。象牙芽細胞は歯髄腔の周囲に存在し、突起が歯層を貫通して象牙質の維持を助ける因子を生成する。エナメル器官のすぐ周囲の間葉細胞は、セメント質およびその他の歯周組織の細胞に分化する。(X120; H&E)

歯の頸部を囲むように最大3mmの深さまで広がる(図15-11a)。この上皮の特殊な部分である接合上皮は、キューティクルによって歯のエナメル質に結合しており、キューティクルは厚い基底膜に似ており、上皮細胞は多数のヘミデスモームによってこの基底膜に付着している。

粘膜を保護します(図15-13a)。胃の近くの粘膜には、**食道噴門腺**と呼ばれる**腺の集まりもあり**、そこからさらに粘液が分泌されます。

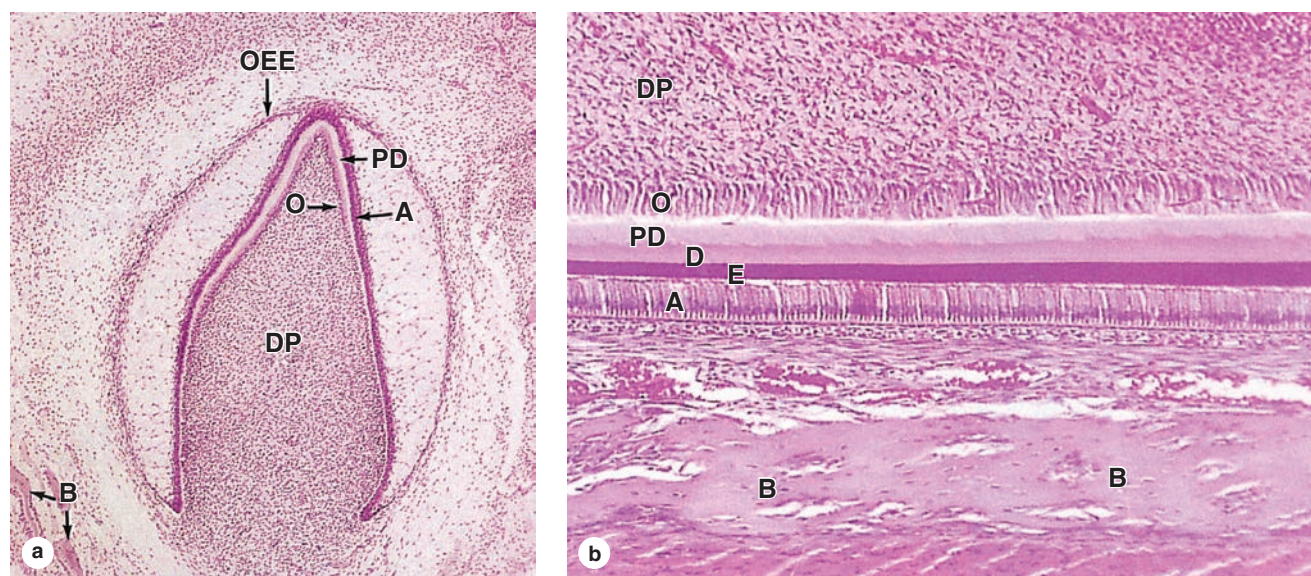
## 食道

食道は、成人で約25cmの長さの筋肉の管で、飲み込んだものを咽頭から胃に運びます。消化管の4つの層(図15-12)は、まず食道でしっかりと確立され、はっきりと見えます。食道粘膜は、非角質の重層扁平上皮でできており、粘膜下層には小さな粘液分泌腺である食道腺があり、**食道腺は、食道粘膜を潤滑します。**

### 医療用途

食道で生成される潤滑粘液は、胃から食道に移動する酸に対してほとんど防御力がありません。このような酸の移動により、胸焼けや逆流性食道炎が生じることがあります。下食道括約筋の機能不全により慢性的な胸焼けが生じ、食道粘膜の侵食や胃食道逆流症(GERD)につながることがあります。GERDを治療しないと、食道粘膜の重層扁平上皮に化生性変化が生じることがあり、これをバレット食道と呼びます。



**FIGURE 15–10** Tooth formation.

Tooth formation begins in the embryo when ectodermal epithelium lining the oral cavity grows into the underlying mesenchyme of the developing jaws. At a series of sites corresponding to each future tooth, these epithelial cells proliferate extensively and become organized as **enamel organs**, each shaped like a wine glass with its stem initially still attached to the oral lining. **Ameloblasts** form from the innermost layer of cells in the enamel organ. Mesenchymal cells inside the concave portion of the enamel organ include neural crest cells that differentiate as the layer of **odontoblasts** with their apical ends in contact with the apical ends of the ameloblasts.

**(a)** A section of enamel organ in which production of dentin and enamel has begun. The ameloblast layer (**A**) is separated from the outer enamel epithelium (**OEE**) by a thick intervening region rich in GAGs but with few, widely separated cells. Surrounding the enamel organ is mesenchyme, some parts of which begin to undergo intramembranous bone formation (**B**). Inside the cavity of each enamel organ, mesenchymal cells comprise the dental papilla (**DP**), in which the outermost cells are the layer of odontoblasts (**O**)

facing the ameloblasts. These two cell layers begin to move apart as the odontoblasts begin to produce the layer of pre-dentin (**PD**). Contact with dentin induces each ameloblast to begin secretion of an enamel rod. More slowly, calcifying interprismatic enamel fuses all the enamel rods into a very strong, solid mass. (X20; H&E)

**(b)** Detail of an enamel organ showing the layers of pre-dentin (**PD**) and dentin (**D**) and a layer of enamel (**E**), along with the organized cell layers that produced this material. Odontoblasts (**O**) are in contact with the very cellular mesenchyme of the dental papilla (**DP**) that will become the pulp cavity. Ameloblasts (**A**) are prominent in the now much thinner enamel organ, which is very close to developing bone (**B**). Enamel formation continues until shortly before tooth eruption; formation of dentin continues after eruption until the tooth is fully formed. Odontoblasts persist around the pulp cavity, with processes penetrating the dental layer, producing factors to help maintain dentin. Mesenchymal cells immediately around the enamel organ differentiate into the cells of cementum and other periodontal tissues. (X120; H&E)

up to 3 mm deep surrounding the neck (Figure 15–11a). A specialized part of this epithelium, the **junctional epithelium**, is bound to the tooth enamel by means of a cuticle, which resembles a thick basal lamina to which the epithelial cells are attached by numerous hemidesmosomes.

## > ESOPHAGUS

The **esophagus** is a muscular tube, about 25-cm long in adults, which transports swallowed material from the pharynx to the stomach. The four layers of the GI tract (Figure 15–12) first become well-established and clearly seen in the esophagus. The esophageal mucosa has nonkeratinized stratified squamous epithelium, and the submucosa contains small mucus-secreting glands, the **esophageal glands**, which lubricate

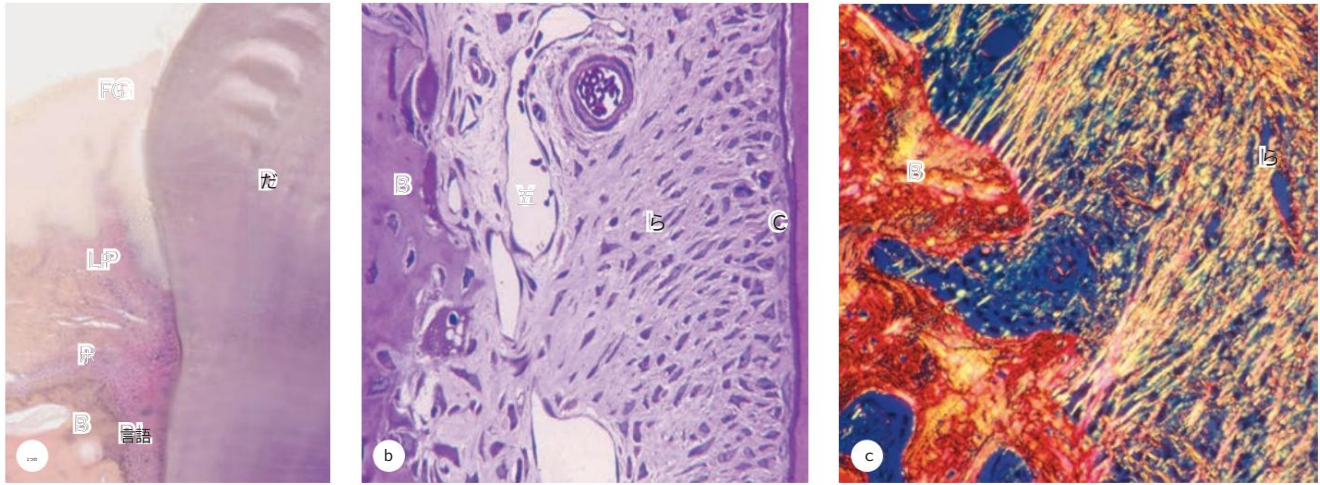
and protect the mucosa (Figure 15–13a). Near the stomach the mucosa also contains groups of glands, the **esophageal cardiac glands**, which secrete additional mucus.

### >>> MEDICAL APPLICATION

The lubricating mucus produced in the esophagus offers little protection against acid that may move there from the stomach. Such movement can produce **heartburn** or **reflux esophagitis**. An incompetent inferior esophageal sphincter may result in chronic heartburn, which can lead to erosion of the esophageal mucosa or **gastroesophageal reflux disease (GERD)**. Untreated GERD can produce metaplastic changes in the stratified squamous epithelium of the esophageal mucosa, a condition called **Barrett esophagus**.



図15-11 歯周組織。



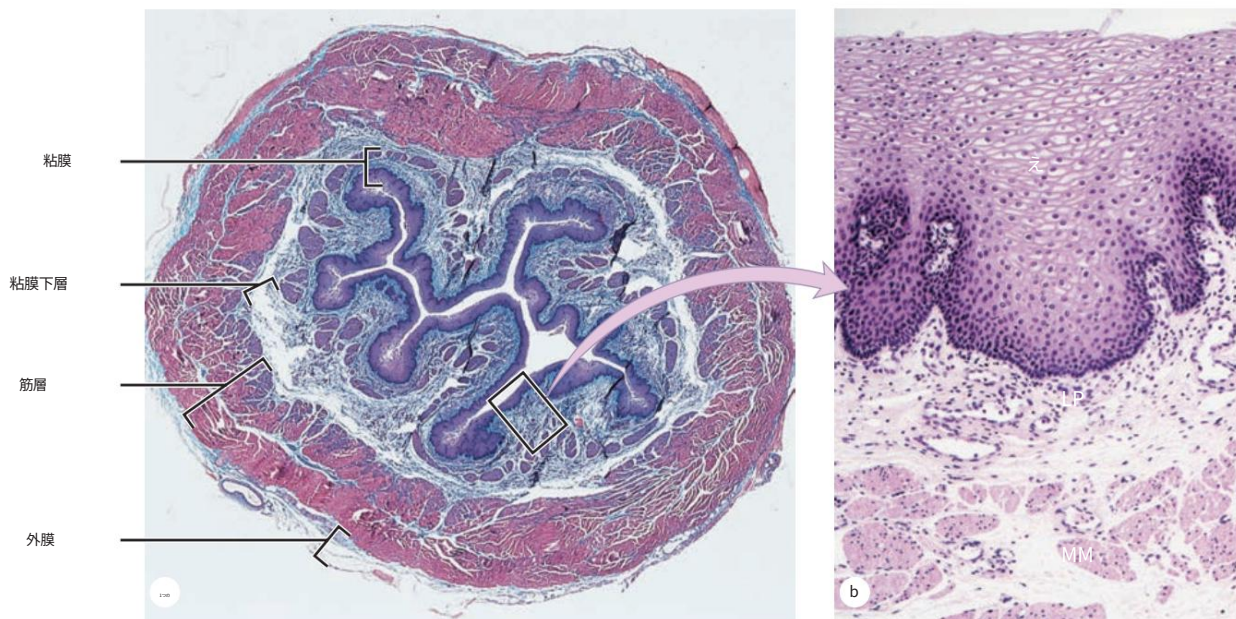
各歯の歯周組織は、セメント質、歯周靱帯、歯槽骨、および歯肉で構成されています。

(a)脱灰歯の顕微鏡写真には歯肉が写っている。遊離歯肉(FG)は象牙質(D)に接しており、歯肉溝はほとんど見られない。歯肉は、粘膜固有層(LP)の結合組織の上に重層扁平上皮で覆われている。結合組織は、歯槽骨(B)を覆う骨膜(P)および歯根膜(PL)の結合組織と連続している。(X10; H&E)

(b)顕微鏡写真では、歯周靱帯(L)とその多くの血管(V)および歯槽骨への挿入部(B)が示されています。この靱帯は歯槽骨の骨膜として機能し、象牙質を覆うセメント質(C)の発達層と連続しています。セメント質は、セメント芽細胞と呼ばれる大きく細長い細胞によって分泌される骨のような物質の薄い層を形成します。(X100; H&E)

(c)偏光顕微鏡写真は、歯槽骨(B)のコラーゲン繊維の連続性と歯根膜(L)の束を示しています。(X200; 偏光顕微鏡のビクロシリウス)

図15-12 食道。

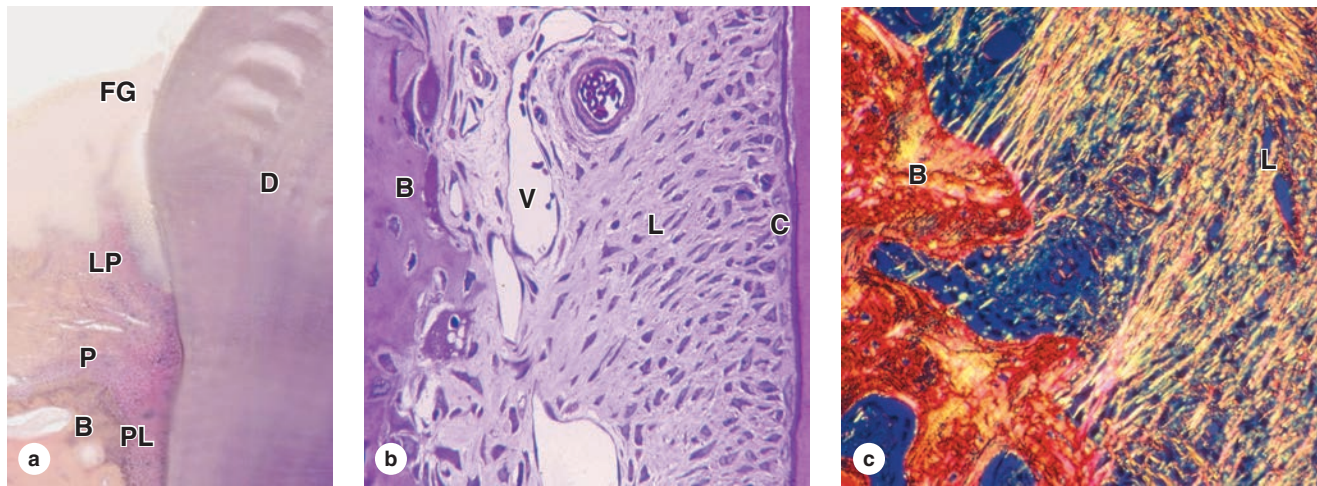


(a)断面では消化管の4つの主要な層がはっきりと見えます。食道粘膜は縦方向に折り重なっており、内腔はほぼ閉じています。(X10; H&E)

(b)粘膜の拡大図では、重層扁平上皮(E)、リンパ球が散在する粘膜固有層(LP)、粘膜筋板(MM)の平滑筋線維が示されています。(X65; H&E)



FIGURE 15-11 Periodontium.



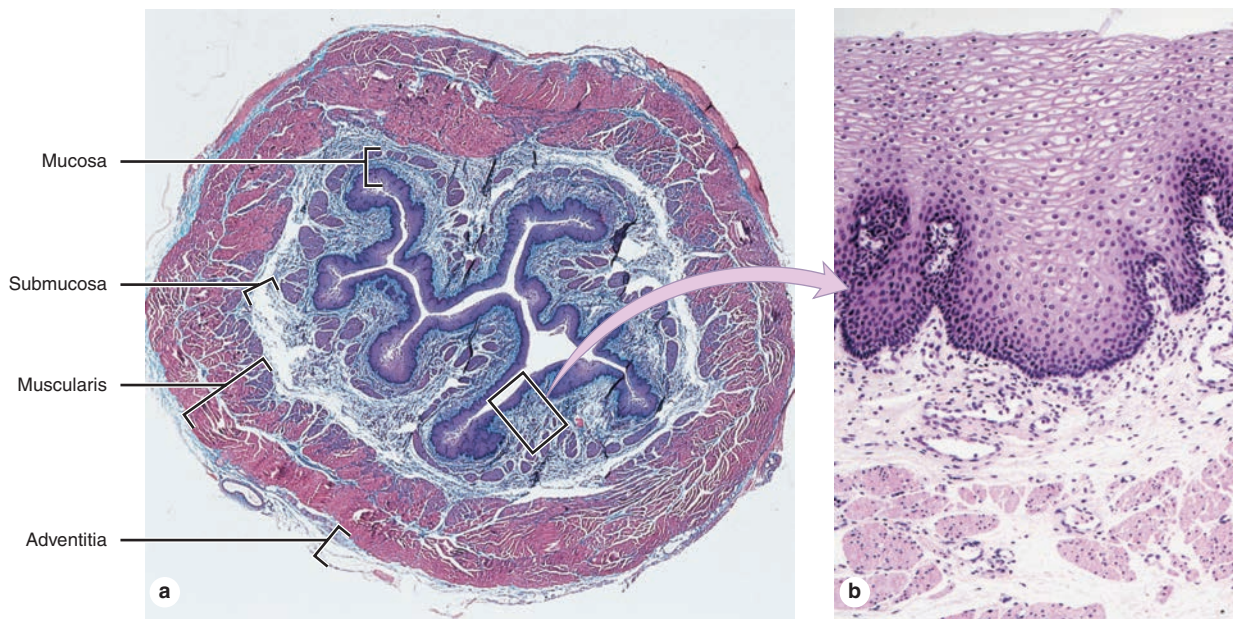
The periodontium of each tooth consists of the **cementum, periodontal ligament, alveolar bone**, and **gingiva**.

**(a)** Micrograph of decalcified tooth shows the gingiva. The free gingiva (**FG**) is against the dentin (**D**), with little of the gingival sulcus apparent. Gingiva stratified squamous epithelium over connective tissue of the lamina propria (**LP**). The connective tissue is continuous with that of the periosteum (**P**) covering the alveolar bone (**B**) and with the periodontal ligament (**PL**). (X10; H&E)

**(b)** Micrograph shows the periodontal ligament (**L**) with its many blood vessels (**V**) and insertions into the alveolar bone (**B**). This ligament serves as the periosteum of the alveolar in tooth sockets and is also continuous with developing layers of cementum (**C**) that covers the dentin. Cementum forms a thin layer of bone-like material secreted by large, elongated cells called **cementoblasts**. (X100; H&E)

**(c)** Polarizing light micrograph shows the continuity of collagen fibers in alveolar bone (**B**), with the bundles in the periodontal ligament (**L**). (X200; Picrosirius in polarized light)

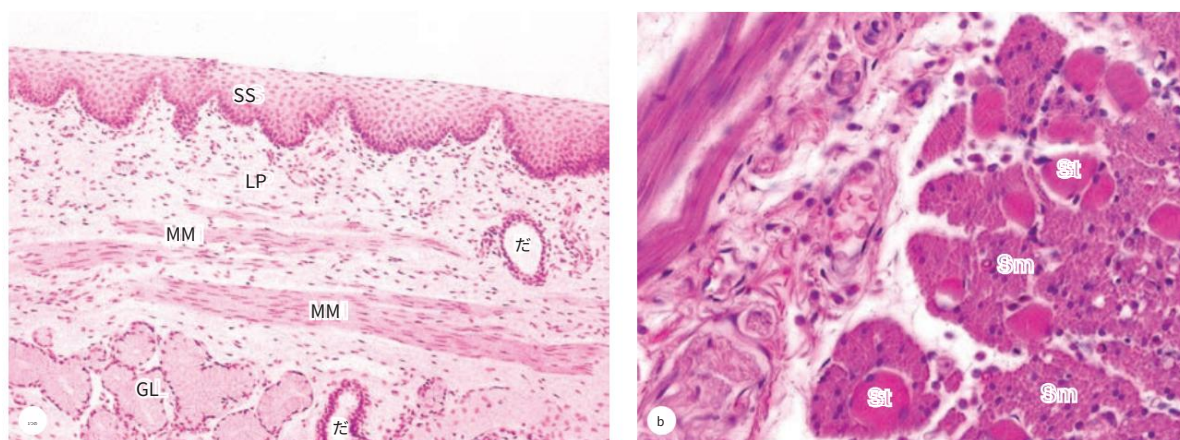
FIGURE 15-12 Esophagus.



**(a)** In cross section the four major layers of the GI tract are clearly seen. The esophageal mucosa is folded longitudinally, with the lumen largely closed. (X10; H&E)

**(b)** Higher magnification of the mucosa shows the stratified squamous epithelium (**E**), the lamina propria (**LP**) with scattered lymphocytes, and strands of smooth muscle in the muscularis mucosae (**MM**). (X65; H&E)

図15-13食道。



(a)食道の縦断面では、非角質化重層扁平上皮(SS)、粘膜前駆層(LP)、粘膜筋板(MM)の平滑筋からなる粘膜が示されています。

粘膜の下には粘膜下層があり、その中に食道粘液腺 (GL)があり、管 (D)を通して腔表面に排出されます。(X40; H&E)

(b)食道の途中の筋層を示す横断面では、横断的に切断された外層に、大きな骨格筋または横紋筋(St)と平滑筋(Sm)の組み合わせが見られる。随意制御の筋肉から自律制御の筋肉への移行は、嚥下機構において重要である。(X200; H&E)

**嚥下**は随意筋の活動で始まり、不随意の蠕動で終わります。食道の上部約1/3では、筋層は舌の筋層と同様に骨格筋のみで構成されています。食道の中央部には骨格筋と平滑筋が混在しており(図15-13b)、下部1/3では筋層は平滑筋のみで構成されています。腹腔内の食道の遠位1~2cmのみが漿膜で覆われており、残りは外膜の疎性結合組織で囲まれており、外膜は周囲の組織と融合しています。

胃は、噴門、胃底、胃体部、幽門の4つの主要な領域から構成されています(図15-14a)。噴門は、食道と胃の間にある幅1.5~3cmの狭い移行部で、**幽門**は小腸に通じる漏斗状の領域です。これらの領域は両方とも主に粘液の生成に関与しており、組織学的に類似しています。はるかに大きな**胃底部**と**胃体部**の顕微鏡的構造は同一で、酸性の胃液を分泌する胃腺の場所です。空胃の粘膜と粘膜下層には、**皺と呼ばれる縦方向の大きなひだがあり**、胃が食物で満たされると広がります。胃のすべての領域の壁は、4つの主要な層すべてで構成されています(図15-14cおよび15-15)。

e

## > 胃

胃は消化管の非常に拡張した部分である  
その主な機能は

- 唾液中のアミラーゼによって開始された炭水化物の消化を継続するため、
- 摂取した食物に酸性の液体を加え、筋層の攪拌作用によってその内容物を**糜粥**と呼ばれる粘性の塊に混ぜる。
- 分泌されたリパーゼによってトリグリセリドの消化を開始し、
- ペプシン酵素によるタンパク質の初期消化を促進します。

### 医療用途

自己免疫を含むさまざまな理由により、壁細胞が損傷し、内因子の分泌量が不十分になり、ビタミンB12が十分に吸収されなくなる場合があります。このビタミンはDNA合成に必要な補因子であり、ビタミンB12のレベルが低いと赤芽球の増殖が抑制され、悪性貧血を引き起こす可能性があります。

### 医療用途

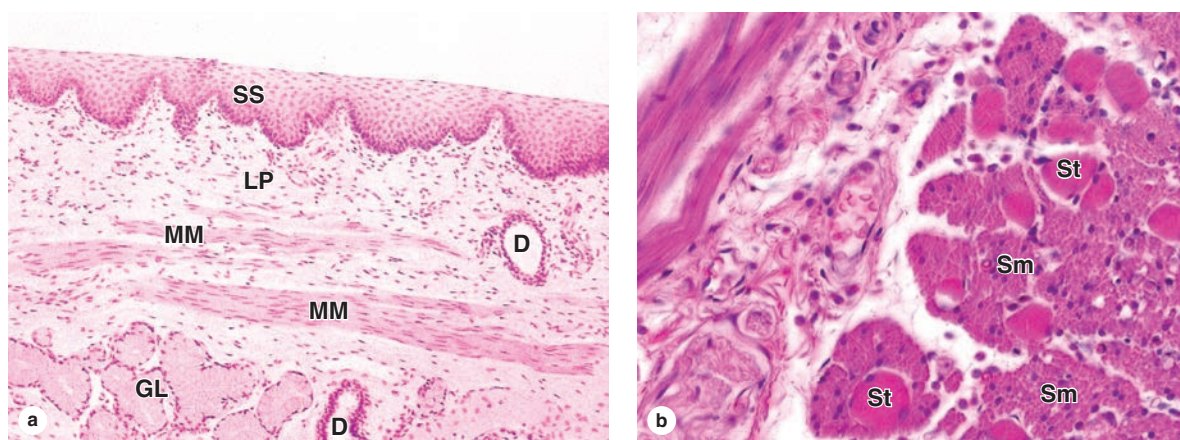
胃潰瘍および十二指腸潰瘍は、粘膜の痛みを伴うびらん性病変で、より深い層にまで広がることがあります。このような潰瘍は、下部食道から空腸までのどこにでも発生する可能性があり、その原因には、ヘリコバクターピロリによる細菌感染、非ステロイド性抗炎症薬の影響、HClまたはペプシンの過剰産生、粘液または重炭酸塩の産生または分泌の低下などがあります。

### 粘膜

食道胃接合部で突然変化する胃粘膜表面は、粘膜固有層に深く陥入した単純な円柱上皮です(図15-14b)。陥入部は数百万の**胃小窩を形成し**、それぞれが胃腔に通じています(図15-14および15-16を参照)。胃腔の内側を覆う**表面粘液細胞**



FIGURE 15-13 Esophagus.



(a) Longitudinal section of esophagus shows mucosa consisting of nonkeratinized stratified squamous epithelium (SSE), lamina propria (LP), and smooth muscles of the muscularis mucosae (MM). Beneath the mucosa is the submucosa containing esophageal mucous glands (GL) that empty via ducts (D) onto the luminal surface. (X40; H&E)

(b) Transverse section showing the muscularis halfway along the esophagus reveals a combination of large skeletal or striated muscle fibers (St) and smooth muscle fibers (Sm) in the outer layer, which is cut transversely here. This transition from muscles under voluntary control to the type controlled autonomically is important in the swallowing mechanism. (X200; H&E)

**Swallowing** begins with voluntary muscle action but finishes with involuntary peristalsis. In approximately the upper one-third of the esophagus, the muscularis is exclusively skeletal muscle like that of the tongue. The middle portion of the esophagus has a combination of skeletal and smooth muscle fibers (Figure 15-13b), and in the lower third the muscularis is exclusively smooth muscle. Only the distal 1-2 cm of the esophagus, in the peritoneal cavity, is covered by serosa; the rest is enclosed by the loose connective tissue of the adventitia, which blends into the surrounding tissue.

## STOMACH

The stomach is a greatly dilated segment of the digestive tract whose main functions are

- to continue the digestion of carbohydrates initiated by the amylase of saliva,
- to add an acidic fluid to the ingested food and mixing its contents into a viscous mass called **chyme** by the churning activity of the muscularis,
- to begin digestion of triglycerides by a secreted lipase, and
- to promote the initial digestion of proteins with the enzyme **pepsin**.

### MEDICAL APPLICATION

For various reasons, including autoimmunity, parietal cells may be damaged to the extent that insufficient quantities of intrinsic factor are secreted and **vitamin B<sub>12</sub>** is not absorbed adequately. This vitamin is a cofactor required for DNA synthesis; low levels of vitamin B<sub>12</sub> can reduce proliferation of erythroblasts, producing **pernicious anemia**.

Four major regions make up the stomach: the cardia, fundus, body, and pylorus (Figure 15-14a). The **cardia** is a narrow transitional zone, 1.5-3 cm wide, between the esophagus and the stomach; the **pylorus** is the funnel-shaped region that opens into the small intestine. Both these regions are primarily involved with mucus production and are histologically similar. The much larger **fundus** and **body** regions are identical in microscopic structure and are the sites of gastric glands releasing acidic gastric juice. The mucosa and submucosa of the empty stomach have large, longitudinally directed folds called **rugae**, which flatten when the stomach fills with food. The wall in all regions of the stomach is made up of all four major layers (Figures 15-14c and 15-15).

### MEDICAL APPLICATION

Gastric and duodenal ulcers are painful erosive lesions of the mucosa that may extend to deeper layers. Such ulcers can occur anywhere between the lower esophagus and the jejunum, and their causes include bacterial infections with *Helicobacter pylori*, effects of nonsteroidal anti-inflammatory drugs, overproduction of HCl or pepsin, and lowered production or secretion of mucus or bicarbonate.

## Mucosa

Changing abruptly at the esophagogastric junction (Figure 15-14b), the mucosal surface of the stomach is a simple columnar epithelium that invaginates deeply into the lamina propria. The invaginations form millions of **gastric pits**, each with an opening to the stomach lumen (see Figures 15-14 and 15-16). The **surface mucous cells** that line the lumen



FIGURE 15-15 Wall of the stomach with rugae.

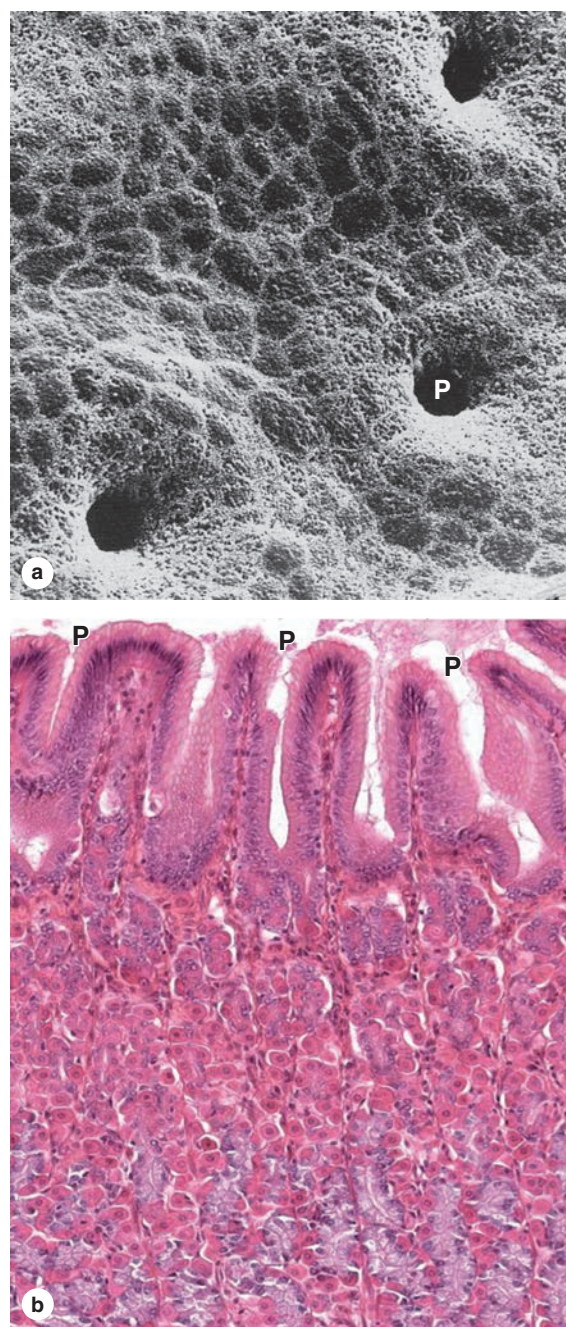


A low-magnification micrograph of the stomach wall at the fundus shows the relative thickness of the four major layers: the mucosa (**M**), the submucosa (**SM**), the muscularis externa (**ME**), and the serosa (**S**). Two rugae (folds) cut transversely and consisting of mucosa and submucosa are included. The mucosa is packed with branched tubular glands penetrating the full thickness of the lamina propria so that this sublayer cannot be distinguished at this magnification. The **muscularis mucosae** (arrows), immediately beneath the basal ends of the gastric glands, is shown. The submucosa is largely loose connective tissue, with blood vessels (**V**) and lymphatics. (X12; H&E)

and gastric pits secrete a thick, adherent, and highly viscous mucous layer, which is rich in bicarbonate ions and protects the mucosa from both abrasive effects of intraluminal food and the corrosive effects of stomach acid.

The gastric pits lead to long, branched, tubular glands that extend through the full thickness of the lamina propria. **Stem cells** for the epithelium lining the glands, pits, and stomach lumen are found in a narrow segment (isthmus) between each gastric pit and the gastric glands. The pluripotent stem cells divide asymmetrically, producing progenitor cells for all the other epithelial cells. Some of these move upward to replace surface mucous cells, which have a turnover time of 4-7 days.

FIGURE 15-16 Gastric pits and glands.

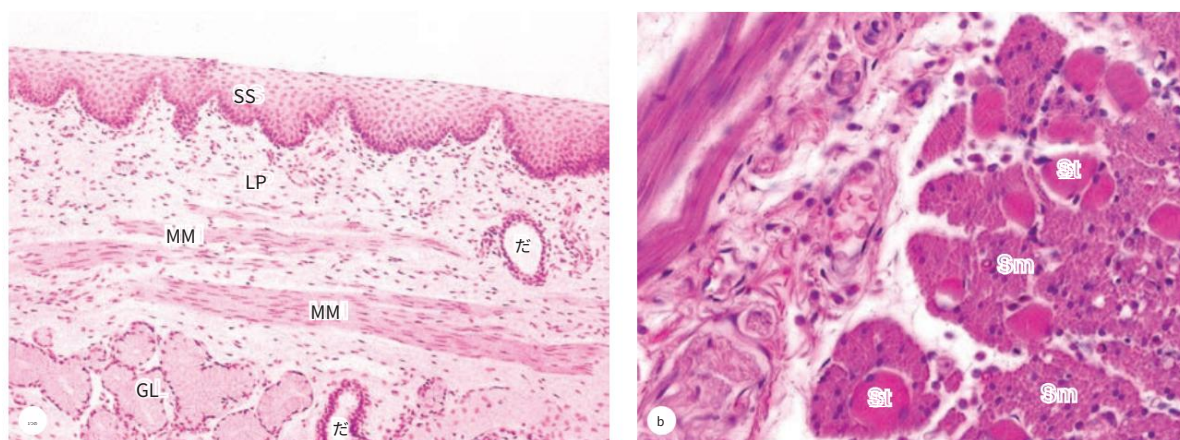


(a) SEM of the stomach lining cleared of its mucous layer reveals closely placed gastric pits (**P**) surrounded by polygonal apical ends of surface mucous cells. (X600)

(b) A section of the same lining shows that these surface mucous cells are part of a simple columnar epithelium continuous with the lining of the pits (**P**). Each pit extends into the lamina propria and then branches into several tubular glands. These glands coil and fill most of the mucosa. Around the various cells of the closely packed gastric glands are cells, capillaries, and small lymphatics of the connective tissue lamina propria. (X200; H&E)



図15-13食道。



(a)食道の縦断面では、非角質化重層扁平上皮(SS)、粘膜前駆層(LP)、粘膜筋板(MM)の平滑筋からなる粘膜が示されています。

粘膜の下には粘膜下層があり、その中に食道粘液腺(GL)があり、管(D)を通して腔表面に排出されます。(X40; H&E)

(b)食道の途中の筋層を示す横断面では、横断的に切断された外層に、大きな骨格筋または横紋筋(St)と平滑筋(Sm)の組み合わせが見られる。随意制御の筋肉から自律制御の筋肉への移行は、嚥下機構において重要である。(X200; H&E)

**嚥下**は随意筋の活動で始まり、不随意の蠕動で終わります。食道の上部約1/3では、筋層は舌の筋層と同様に骨格筋のみで構成されています。食道の中央部には骨格筋と平滑筋が混在しており(図15-13b)、下部1/3では筋層は平滑筋のみで構成されています。腹腔内の食道の遠位1~2cmのみが漿膜で覆われており、残りは外膜の疎性結合組織で囲まれており、外膜は周囲の組織と融合しています。

胃は、噴門、胃底、胃体部、幽門の4つの主要な領域から構成されています(図15-14a)。噴門は、食道と胃の間にある幅1.5~3cmの狭い移行部で、**幽門**は小腸に通じる漏斗状の領域です。これらの領域は両方とも主に粘液の生成に関与しており、組織学的に類似しています。はるかに大きな**胃底部**と**胃体部**の顕微鏡的構造は同一で、酸性の胃液を分泌する胃腺の場所です。空胃の粘膜と粘膜下層には、**皺と呼ばれる縦方向の大きなひだがあり**、胃が食物で満たされると広がります。胃のすべての領域の壁は、4つの主要な層すべてで構成されています(図15-14cおよび15-15)。

## > 胃

胃は消化管の非常に拡張した部分である  
その主な機能は

- 唾液中のアミラーゼによって開始された炭水化物の消化を継続するため、
- 摂取した食物に酸性の液体を加え、筋層の攪拌作用によってその内容物を**糜粥**と呼ばれる粘性の塊に混ぜる。
- 分泌されたリパーゼによってトリグリセリドの消化を開始し、
- ペプシン酵素によるタンパク質の初期消化を促進します。

### 医療用途

自己免疫を含むさまざまな理由により、壁細胞が損傷し、内因子の分泌量が不十分になり、ビタミンB12が十分に吸収されなくなる場合があります。このビタミンはDNA合成に必要な補因子であり、ビタミンB12のレベルが低いと赤芽球の増殖が抑制され、悪性貧血を引き起こす可能性があります。

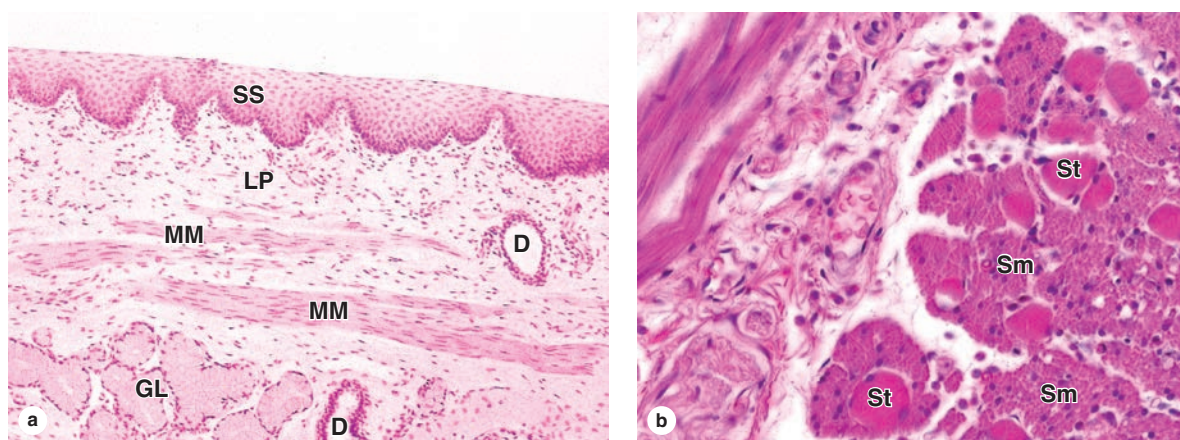
### 医療用途

胃潰瘍および十二指腸潰瘍は、粘膜の痛みを伴うびらん性病変で、より深い層にまで広がることがあります。このような潰瘍は、下部食道から空腸までのどこにでも発生する可能性があり、その原因には、ヘリコバクターピロリによる細菌感染、非ステロイド性抗炎症薬の影響、HClまたはペプシンの過剰産生、粘液または重炭酸塩の産生または分泌の低下などがあります。

### 粘膜

食道胃接合部で突然変化する胃粘膜表面は、粘膜固有層に深く陥入した単純な円柱上皮です(図15-14b)。陥入部は数百万の**胃小窩を形成し**、それぞれが胃腔に通じています(図15-14および15-16を参照)。胃腔の内側を覆う**表面粘液細胞**

FIGURE 15-13 Esophagus.



(a) Longitudinal section of esophagus shows mucosa consisting of nonkeratinized stratified squamous epithelium (SSE), lamina propria (LP), and smooth muscles of the muscularis mucosae (MM). Beneath the mucosa is the submucosa containing esophageal mucous glands (GL) that empty via ducts (D) onto the luminal surface. (X40; H&E)

(b) Transverse section showing the muscularis halfway along the esophagus reveals a combination of large skeletal or striated muscle fibers (St) and smooth muscle fibers (Sm) in the outer layer, which is cut transversely here. This transition from muscles under voluntary control to the type controlled autonomically is important in the swallowing mechanism. (X200; H&E)

**Swallowing** begins with voluntary muscle action but finishes with involuntary peristalsis. In approximately the upper one-third of the esophagus, the muscularis is exclusively skeletal muscle like that of the tongue. The middle portion of the esophagus has a combination of skeletal and smooth muscle fibers (Figure 15-13b), and in the lower third the muscularis is exclusively smooth muscle. Only the distal 1-2 cm of the esophagus, in the peritoneal cavity, is covered by serosa; the rest is enclosed by the loose connective tissue of the adventitia, which blends into the surrounding tissue.

## STOMACH

The stomach is a greatly dilated segment of the digestive tract whose main functions are

- to continue the digestion of carbohydrates initiated by the amylase of saliva,
- to add an acidic fluid to the ingested food and mixing its contents into a viscous mass called **chyme** by the churning activity of the muscularis,
- to begin digestion of triglycerides by a secreted lipase, and
- to promote the initial digestion of proteins with the enzyme **pepsin**.

### MEDICAL APPLICATION

For various reasons, including autoimmunity, parietal cells may be damaged to the extent that insufficient quantities of intrinsic factor are secreted and **vitamin B<sub>12</sub>** is not absorbed adequately. This vitamin is a cofactor required for DNA synthesis; low levels of vitamin B<sub>12</sub> can reduce proliferation of erythroblasts, producing **pernicious anemia**.

Four major regions make up the stomach: the cardia, fundus, body, and pylorus (Figure 15-14a). The **cardia** is a narrow transitional zone, 1.5-3 cm wide, between the esophagus and the stomach; the **pylorus** is the funnel-shaped region that opens into the small intestine. Both these regions are primarily involved with mucus production and are histologically similar. The much larger **fundus** and **body** regions are identical in microscopic structure and are the sites of gastric glands releasing acidic gastric juice. The mucosa and submucosa of the empty stomach have large, longitudinally directed folds called **rugae**, which flatten when the stomach fills with food. The wall in all regions of the stomach is made up of all four major layers (Figures 15-14c and 15-15).

### MEDICAL APPLICATION

Gastric and duodenal ulcers are painful erosive lesions of the mucosa that may extend to deeper layers. Such ulcers can occur anywhere between the lower esophagus and the jejunum, and their causes include bacterial infections with *Helicobacter pylori*, effects of nonsteroidal anti-inflammatory drugs, overproduction of HCl or pepsin, and lowered production or secretion of mucus or bicarbonate.

## Mucosa

Changing abruptly at the esophagogastric junction (Figure 15-14b), the mucosal surface of the stomach is a simple columnar epithelium that invaginates deeply into the lamina propria. The invaginations form millions of **gastric pits**, each with an opening to the stomach lumen (see Figures 15-14 and 15-16). The **surface mucous cells** that line the lumen



(a) 胃部、前面図

食道  
噴門  
幽門開口部  
幽門括約筋  
十二指腸  
幽門  
胃のひだ  
ds  
rビュー  
眼底  
縦方向層  
円形レイヤー  
斜層  
体  
大湾曲  
筋層  
レッサー曲率

(b)

単純円柱上皮  
血管  
リンパ管  
動脈  
静脈  
粘膜下層  
神経叢  
腸間膜  
神経叢  
斜め層  
円形層  
縦方向層  
セロサ  
筋層  
粘膜  
ラミナ固有  
筋層  
粘膜下層

(c) 胃壁の断面図

(d)胃粘膜の組織学的切片では、粘膜固有層の細胞に囲まれた胃小窩(P)と腺(GG)が見られます。その下の筋縁粘膜(MM)も見られます。(X60; H&E)

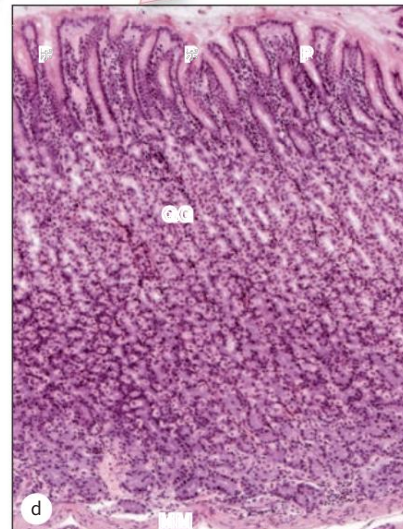
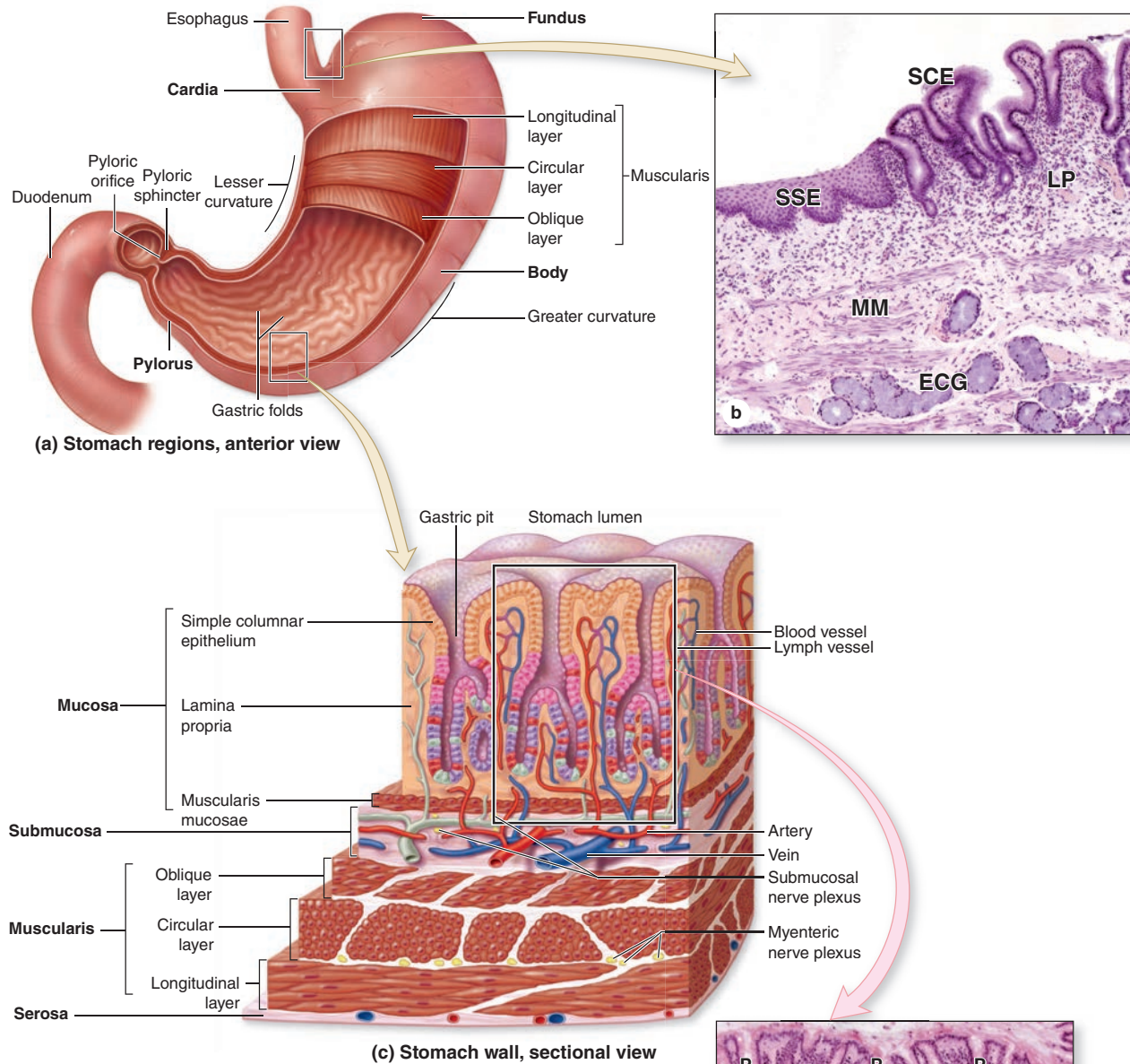


FIGURE 15-14 Stomach.



The stomach is a muscular dilation of the digestive tract where mechanical and chemical digestion occurs.

(a) The major stomach regions are the **cardia**, **fundus**, **body**, and **pylorus**, all with longitudinal gastric folds, or rugae. The muscularis has three layers.

(b) At the esophagogastric junction, stratified squamous epithelium (SSE) lining the esophagus is abruptly replaced by simple columnar epithelium (SCE) of the stomach. Also seen here are the mucous esophageal cardiac glands (ECG) beneath the lamina propria (LP) and muscularis mucosae (MM). (X60; H&E)

(c) The mucosa of the stomach wall contains invaginations called **gastric pits** that lead into **gastric glands**. These structures are lined by simple columnar epithelium containing five functional cell types.

(d) A histologic section of the gastric mucosa shows the gastric pits (P) and glands (GG) surrounded by cells of the lamina propria. The underlying muscularis mucosae (MM) is also seen. (X60; H&E)

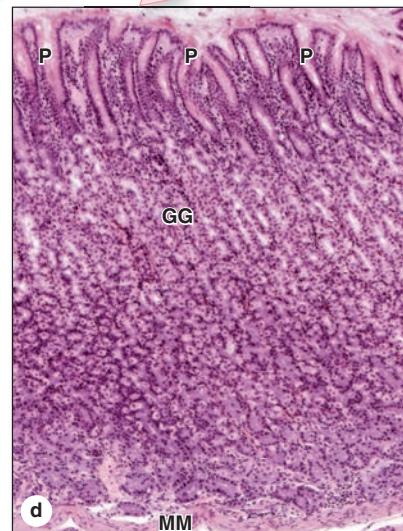
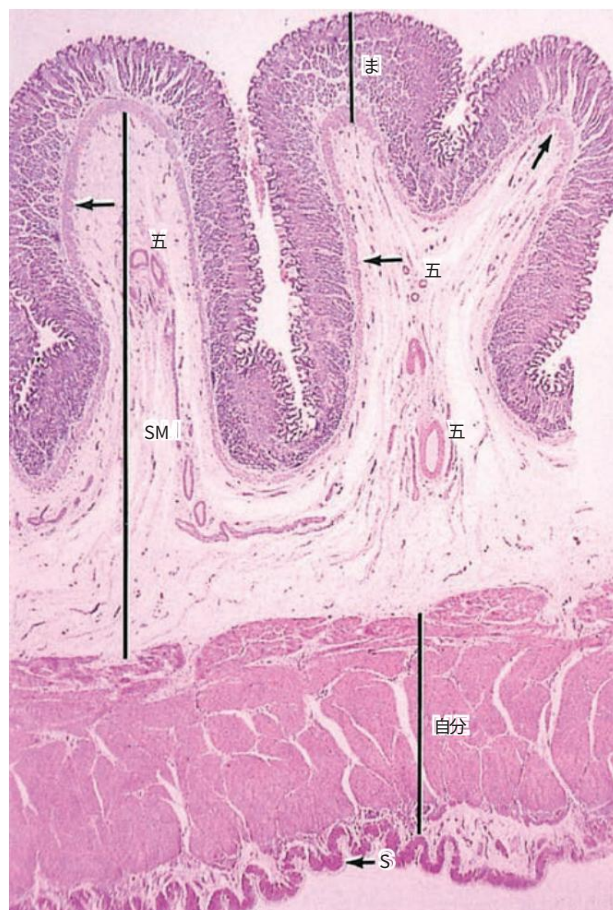




図15-15ヒダのある胃の壁。



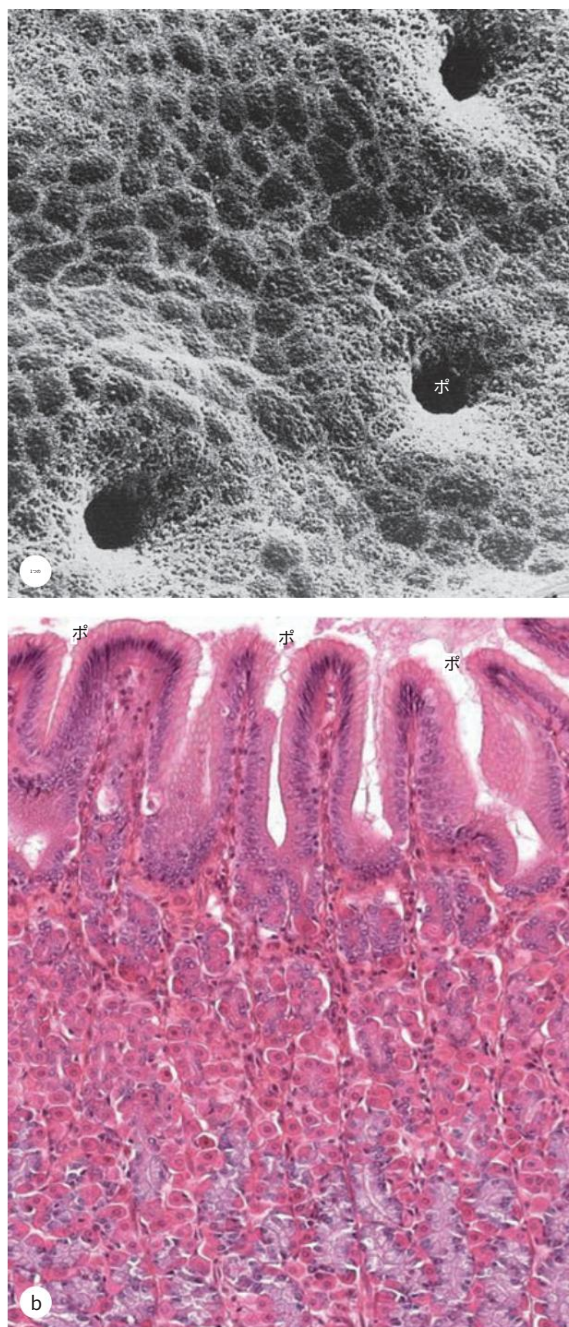
胃底部の低倍率顕微鏡写真では、粘膜(M)、粘膜下層(SM)、外筋板(ME)、漿膜(S)の4つの主要層の相対的な厚さが示されています。粘膜と粘膜下層からなる、横方向に切断された2つのヒダ(襞)が含まれています。粘膜には、粘膜固有層の全層を貫通する分岐した管状腺が詰まっているため、この倍率ではこの下層を区別することはできません。粘膜筋板

(矢印)、胃腺の基底端のすぐ下が示されています。粘膜下層は主に緩い結合組織で、血管(V)とリンパ管があります。(X12; H&E)

胃小窩は、重炭酸イオンを豊富に含んだ厚く粘着性のある高粘度の粘液層を分泌し、胃腔内の食物による研磨作用と胃酸による腐食作用の両方から粘膜を保護します。

胃小窩は、粘膜固有層全体にわたって伸びる長く分岐した管状の腺に通じています。腺、小窩、胃腔の内側を覆う上皮の幹細胞は、各胃小窩と胃腺の間の狭い部分(峽部)にあります。多能性幹細胞は非対称に分裂し、他のすべての上皮細胞の前駆細胞を生成します。これらの一部は上方に移動して表面粘液細胞を置き換えます。表面粘液細胞のターンオーバー時間は4〜7日です。

図15-16胃小窩と胃腺。



(a) 粘液層を除去した胃内壁のSEMでは、表面粘液細胞の多角形の先端に囲まれた密集した胃小窩(P)が明らかになります。(X600)

(b) 同じ内層の断面では、これらの表面粘液細胞が、小窩(P)の内層と連続する単純な円柱上皮の一部であることがわかります。各小窩は粘膜固有層まで伸び、いくつかの管状腺に分岐します。

これらの腺は粘膜の大部分を覆っています。密集した胃腺のさまざまな細胞の周りには、結合組織である粘膜固有層の細胞、毛細血管、および小さなリンパ管があります。(X200; H&E)



FIGURE 15-15 Wall of the stomach with rugae.

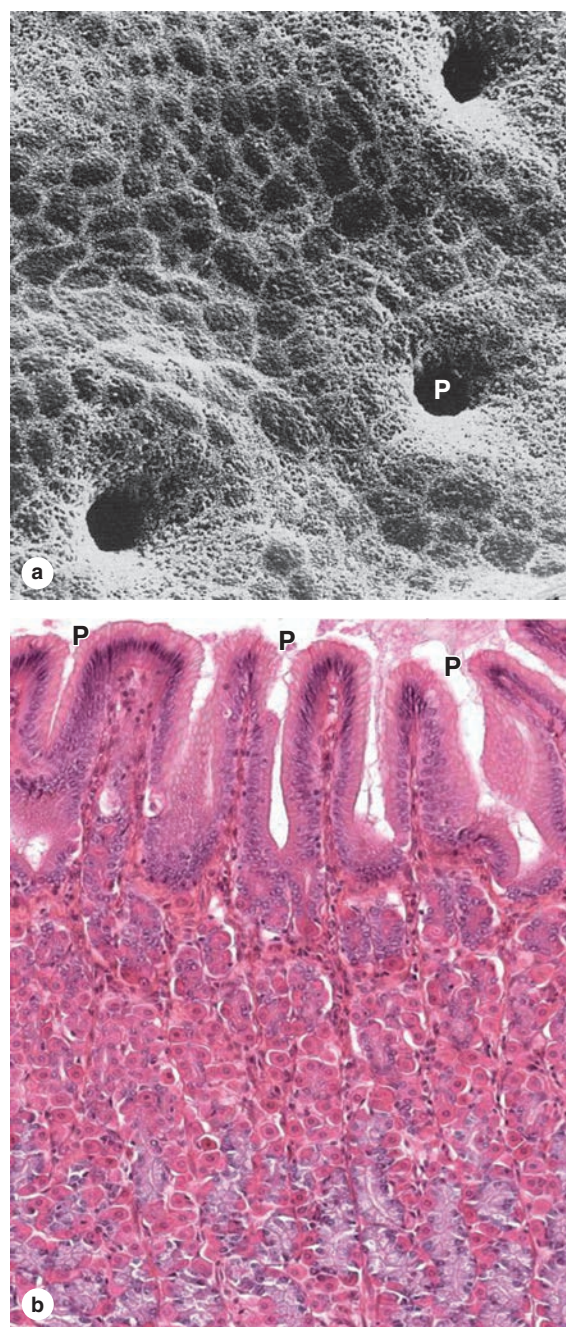


A low-magnification micrograph of the stomach wall at the fundus shows the relative thickness of the four major layers: the mucosa (**M**), the submucosa (**SM**), the muscularis externa (**ME**), and the serosa (**S**). Two rugae (folds) cut transversely and consisting of mucosa and submucosa are included. The mucosa is packed with branched tubular glands penetrating the full thickness of the lamina propria so that this sublayer cannot be distinguished at this magnification. The **muscularis mucosae** (arrows), immediately beneath the basal ends of the gastric glands, is shown. The submucosa is largely loose connective tissue, with blood vessels (**V**) and lymphatics. (X12; H&E)

and gastric pits secrete a thick, adherent, and highly viscous mucous layer, which is rich in bicarbonate ions and protects the mucosa from both abrasive effects of intraluminal food and the corrosive effects of stomach acid.

The gastric pits lead to long, branched, tubular glands that extend through the full thickness of the lamina propria. **Stem cells** for the epithelium lining the glands, pits, and stomach lumen are found in a narrow segment (isthmus) between each gastric pit and the gastric glands. The pluripotent stem cells divide asymmetrically, producing progenitor cells for all the other epithelial cells. Some of these move upward to replace surface mucous cells, which have a turnover time of 4-7 days.

FIGURE 15-16 Gastric pits and glands.



(a) SEM of the stomach lining cleared of its mucous layer reveals closely placed gastric pits (**P**) surrounded by polygonal apical ends of surface mucous cells. (X600)

(b) A section of the same lining shows that these surface mucous cells are part of a simple columnar epithelium continuous with the lining of the pits (**P**). Each pit extends into the lamina propria and then branches into several tubular glands. These glands coil and fill most of the mucosa. Around the various cells of the closely packed gastric glands are cells, capillaries, and small lymphatics of the connective tissue lamina propria. (X200; H&E)



## 310第15章消化管

他の前駆細胞はより深く移動し、表面粘液細胞よりもはるかにゆっくりと変化する腺の分泌細胞に分化します。

胃小窩と胃腺を取り囲み、支えている血管に覆われた粘膜固有層には、平滑筋、リンパ細胞、毛細血管、リンパ管が含まれています。粘膜とその下の粘膜下組織を隔てているのは、平滑筋の層である粘膜筋板です(図15-15)。

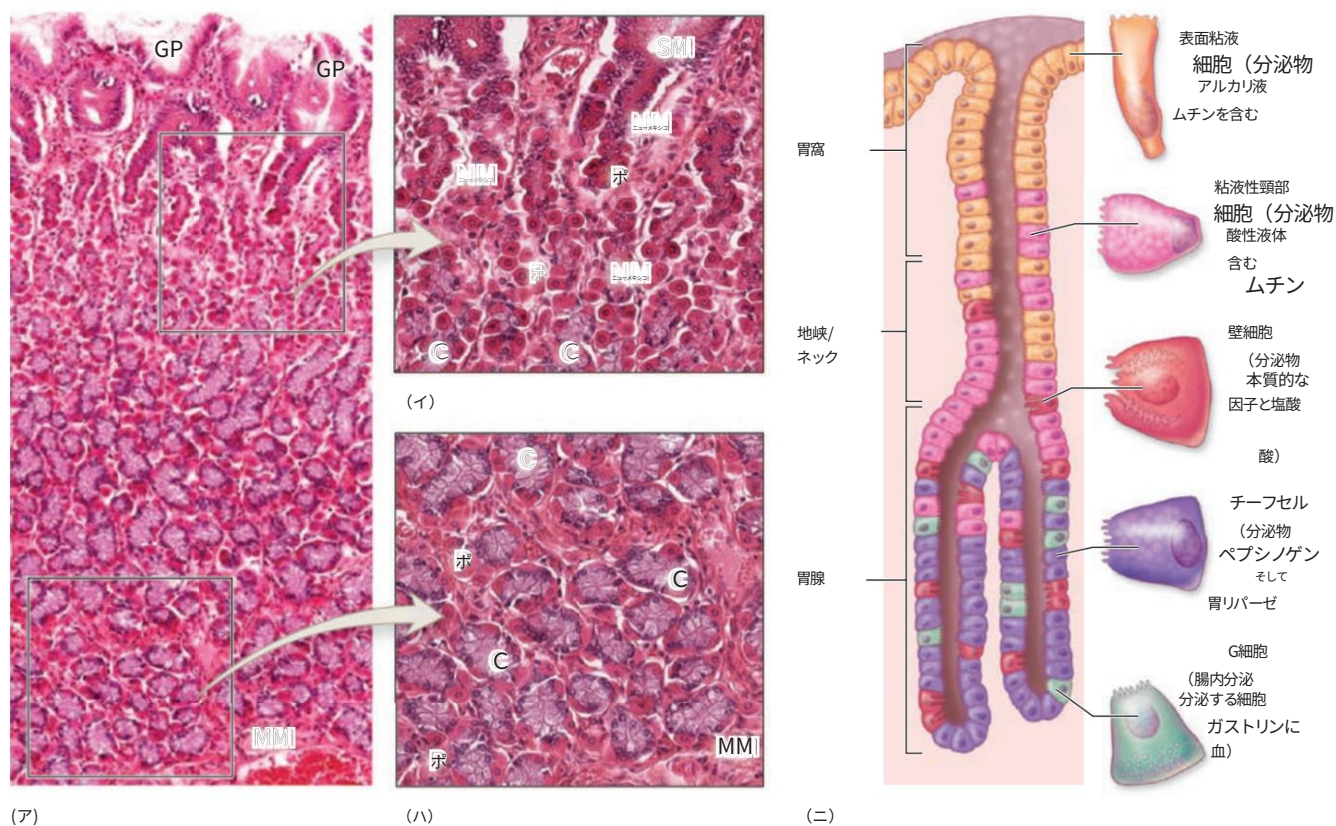
胃底部と胃体部では、胃腺自体が粘膜の大部分を占めており、胃小窩の峽部または頸部で分岐していくつかの胃腺が形成されています。胃腺の分泌上皮細胞は不均一に分布しており、胃の機能に重要な産物を放出します。

これらの細胞は4つの主要なタイプと重要な特性を持っています  
それぞれ次のようになります。

■**粘液頸細胞**は主にクラスター状に存在しますが、胃腺頸部の他の細胞の間に単独で存在することもあり、多くの前駆細胞と未熟な表面粘液細胞が含まれます(図15~17)。粘液頸細胞は胃小窩の内側を覆う表面粘液細胞ほど円柱状ではなく、周囲の細胞によって歪んでいることがよくありますが、丸い核と頂端分泌顆粒を持っています。その粘液分泌は表面上皮粘液細胞よりもアルカリ性が低いです。

■**壁細胞**(酸細胞)は塩酸を生成する  
(HCl)は粘液頸細胞の間に存在し、

図15~17胃腺。



胃底部および胃体部全体にわたって、胃小窩はさまざまな細胞型を持つ胃腺につながっています。(a)長くコイル状の胃腺は、胃小窩(GP)から粘膜筋板(MM)まで粘膜の全層を貫通しています。

(b)胃腺の頸部では、胃小窩の粘液細胞(SM)の下に小さな粘液頸細胞(MN)があり、個々に散在しているか、または腺のすべての上皮細胞を生み出す壁細胞(P)と幹細胞の間に密集しています。多数の壁細胞(P)は、しばしば管から突出している大きな特徴的な細胞で、中心核は異常な超微細構造を持つ強い好酸性の細胞質に囲まれています。これらの細胞はHClを生成し、このプロセスに必要な多数のミトコンドリアが原因となります。

好酸球増多。主細胞(C)が首の領域に現れ始めます。  
これらの管状腺の周りには結合組織内のさまざまな細胞と微小血管があります。

(c)粘膜筋板(MM)付近では、これらの腺の基部には壁細胞(P)が少なく、酵素原主細胞(C)が多く含まれています。主細胞はクラスター状に存在し、基底核と好塩基性の細胞質を持ちます。主細胞の頂端からは、主要プロテアーゼであるペプシンの酵素原前駆体であるペプシノゲンが分泌されます。

通常の標本作製では、チモゲン顆粒が除去されたり、染色が不十分になったりすることがよくあります。(両方とも X200, H&E)

(d)主要な胃腺細胞の一般的な形態と機能を示す図。

Other progenitor cells migrate more deeply and differentiate into the secretory cells of the glands that turn over much more slowly than the surface mucous cells.

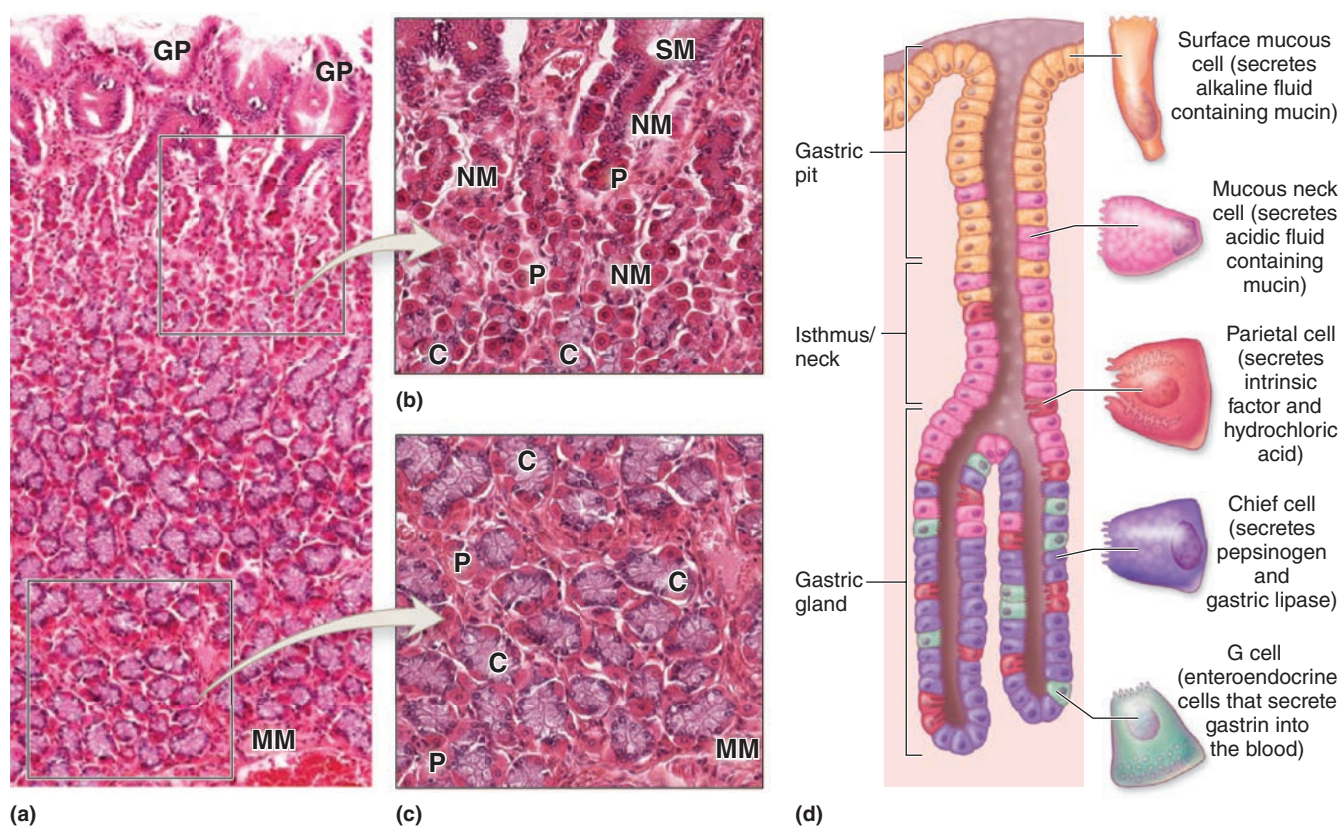
The vascularized **lamina propria** surrounding and supporting the gastric pits and glands contains smooth muscle fibers, lymphoid cells, capillaries, and lymphatics. Separating the mucosa from the underlying submucosa is a layer of smooth muscle, the **muscularis mucosae** (Figure 15–15).

In the fundus and body the **gastric glands** themselves fill most of the mucosa, with several such glands formed by branching at the isthmus or neck of each gastric pit. Secretory epithelial cells of the gastric glands are distributed unevenly and release products that are key to the stomach's functions.

These cells are of four major types and important properties of each are as follows:

- **Mucous neck cells** are present mainly clustered but also occur singly among the other cells in the necks of gastric glands and include many progenitor and immature surface mucous cells (Figure 15–17). Less columnar than the surface mucous cells lining the gastric pits, mucous neck cells are often distorted by neighboring cells, but they have round nuclei and apical secretory granules. Their mucus secretion is less alkaline than that of the surface epithelial mucous cells.
- **Parietal (oxyntic) cells** produce hydrochloric acid (HCl) and are present among the mucous neck cells and

**FIGURE 15–17 Gastric glands.**



Throughout the **fundus** and **body** regions of the stomach, the gastric pits lead to gastric glands with various cell types.

**(a)** The long, coiled gastric glands penetrate the complete thickness of the mucosa, from the gastric pits (**GP**) to the muscularis mucosae (**MM**).

**(b)** In the neck of a gastric gland, below the surface mucous cells (**SM**) lining the gastric pit, are small mucous neck cells (**NM**), scattered individually or clustered among parietal cells (**P**) and stem cells that give rise to all epithelial cells of the glands. The numerous parietal cells (**P**) are large distinctive cells often bulging from the tubules, with central nuclei surrounded by intensely eosinophilic cytoplasm with unusual ultrastructure. These cells produce HCl, and the numerous mitochondria required for this process cause

the eosinophilia. Chief cells (**C**) begin to appear in the neck region. Around these tubular glands are various cells and microvasculature in connective tissue.

**(c)** Near the muscularis mucosae (**MM**), the bases of these glands contain fewer parietal cells (**P**) but many more zymogenic chief cells (**C**). Chief cells are found in clusters, with basal nuclei and basophilic cytoplasm. From their apical ends chief cells secrete pepsinogen, the zymogen precursor for the major protease pepsin. Zymogen granules are often removed or stain poorly in routine preparations. (Both X200; H&E)

**(d)** Diagram showing general morphology and functions of major gastric gland cells.

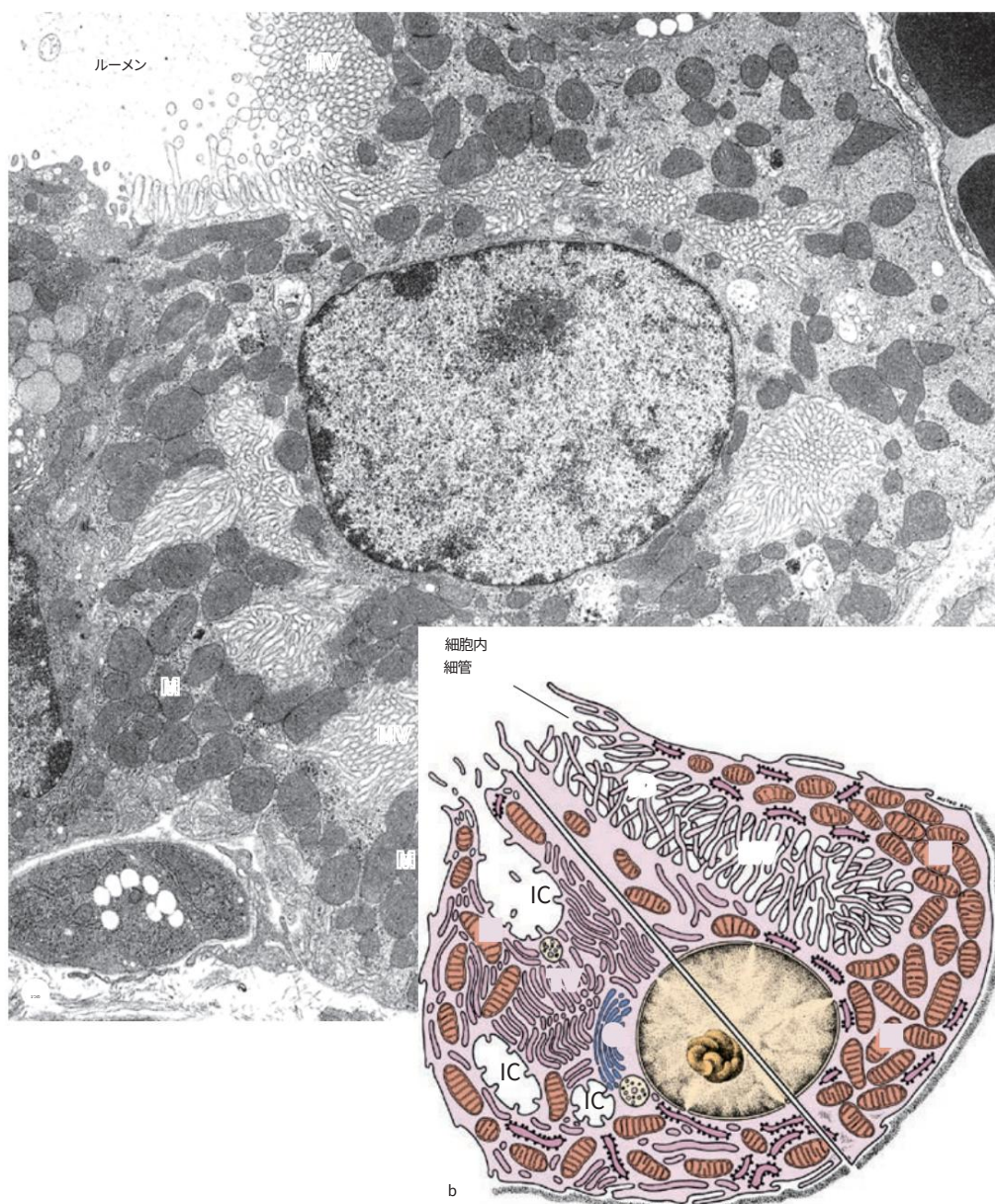


腺の深部全体に広がっています。細胞は大きな細胞で、通常は丸い形または錐体で、それぞれに1つ（時には2つ）の中央に丸い核があります。細胞質はミトコンドリアの密度が高いため、非常に好酸性です（図15～17）。活動的な壁細胞の顕著な超微細構造の特徴は、深く円形の

頂端細胞膜が陥入して、何千もの微絨毛によって生成される大きな表面積を持つ細胞内小管を形成します（図15～18）。

図15-19に示すように、炭酸脱水酵素は細胞質水とCO<sub>2</sub>をHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>とH<sup>+</sup>に変換する触媒作用をします。e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>は基底膜から輸送され、

図15～18壁細胞の超微細構造。



(a)活動中の壁細胞のTEMでは、細胞内腔の近く、細胞深部の細胞内小管に突出する微絨毛(MV)が豊富に見られます。細胞質には多数のミトコンドリア(M)が含まれています。(X10,200)

(図15-18a、伊藤進博士の許可を得て使用)

ハーバード大学医学大学院細胞生物学科、ボストン、マサチューセッツ州。

(b)壁細胞の合成図は、休止細胞(左)と活動細胞(右)の超微細構造の違いを示しています。

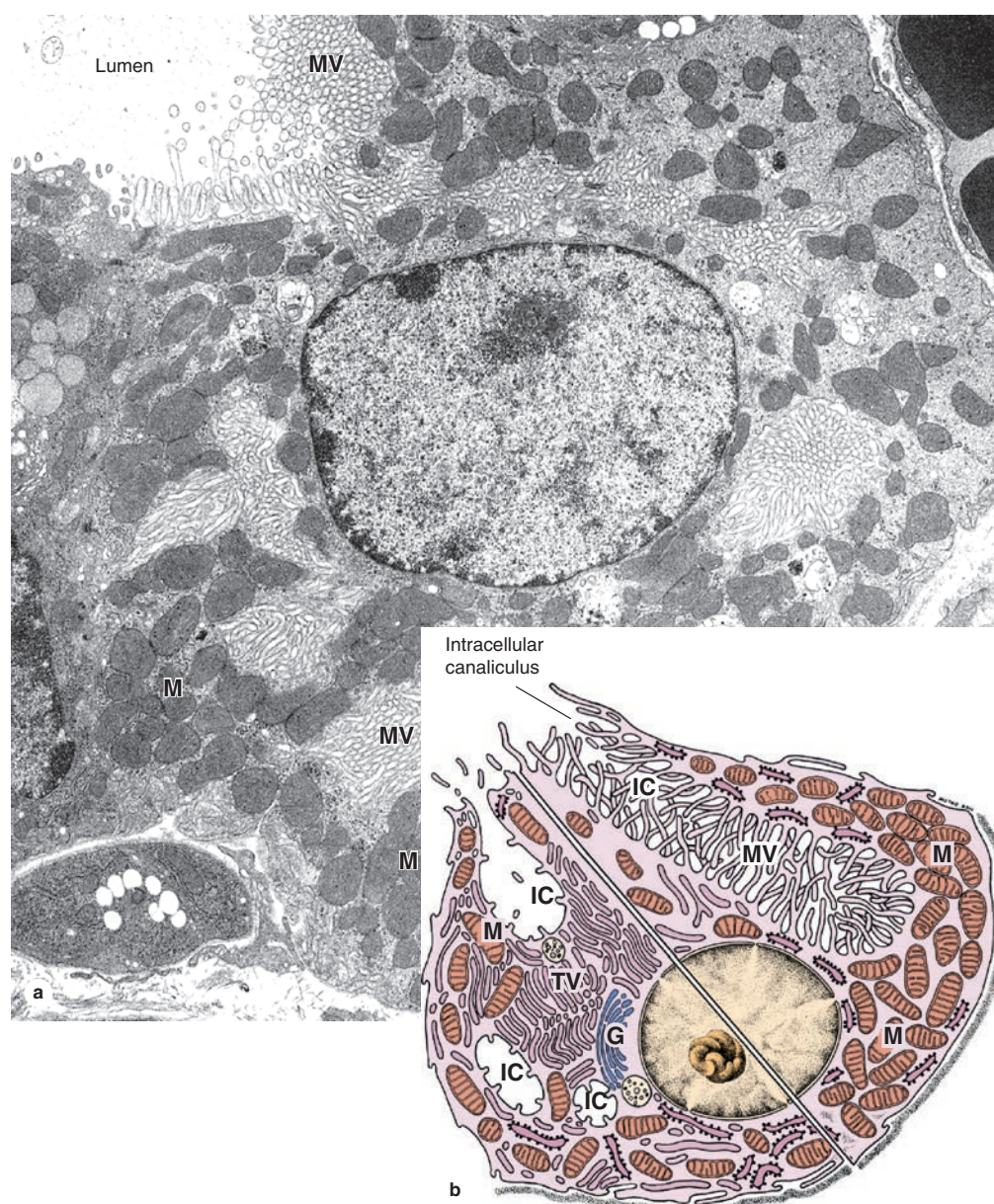
休止細胞では、頂端細胞膜の下に多数の管状小胞(TV)が見られます(左)。しかし、細胞には微絨毛がほとんどなく、ミトコンドリア(M)とゴルジ小胞(G)の間には短い細胞内小管(IC)があるだけです。刺激を受けてHClを生成すると(右)、管状小胞は細胞膜と融合して大きな細胞内小管(IC)と微絨毛(MV)を形成し、拡散とイオンポンプのための細胞膜の表面積が大きく広がります。活動が長引くと、ミトコンドリアがさらに生成される可能性があります。



throughout deeper parts of the gland. They are large cells, usually appearing rounded or pyramidal, each with one (sometimes two) central round nucleus. The cytoplasm is intensely eosinophilic due to the high density of mitochondria (Figure 15–17). A striking ultrastructural feature of an active parietal cell is a deep, circular

invagination of the apical plasma membrane to form an **intracellular canaliculus** with a large surface area produced by thousands of microvilli (Figure 15–18). As shown in Figure 15–19, **carbonic anhydrase** catalyzes the conversion of cytoplasmic water and  $\text{CO}_2$  into  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{H}^+$ . The  $\text{HCO}_3^-$  is transported from the basal

**FIGURE 15–18 Ultrastructure of parietal cells.**



**(a)** A TEM of an active parietal cell shows abundant microvilli (MV) protruding into the intracellular canaliculi, near the lumen and deep in the cell. The cytoplasm contains numerous mitochondria (M). (X10,200)

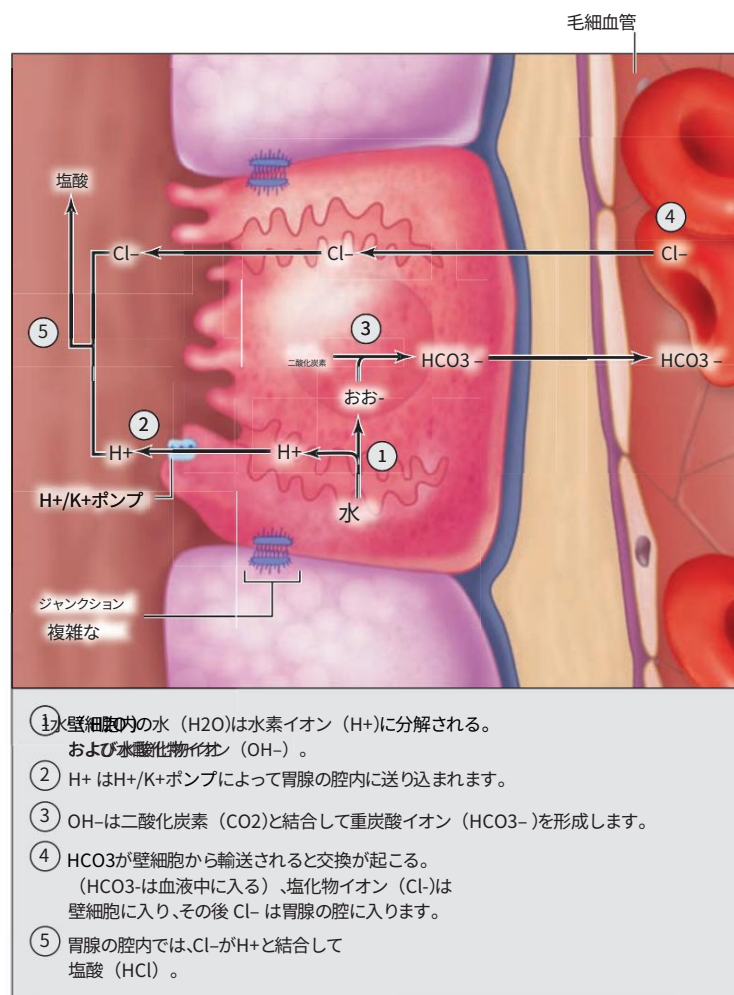
(Figure 15–18a, used with permission from Dr Susumu Ito, Department of Cell Biology, Harvard Medical School, Boston, MA.)

**(b)** Composite diagram of a parietal cell shows the ultrastructural differences between a resting cell (left) and an active cell (right). In

the resting cell a number of tubular vesicles (TV) are seen below the apical plasma membrane (left), but the cell has few microvilli and only short intracellular canaliculi (IC) among the mitochondria (M) and Golgi vesicles (G). When stimulated to produce HCl (right), the tubular vesicles fuse with the cell membrane to form large intracellular canaliculi (IC) and microvilli (MV), thus providing a generous increase in the surface of the cell membrane for diffusion and ion pumps. Prolonged activity may produce more mitochondria.



図15～19壁細胞によるHClの合成。



壁細胞における HCl 合成の主なステップをここに示します。 $\text{H}_2\text{O}$  と  $\text{CO}_2$  から  $\text{HCO}_3^-$  (重炭酸イオン) と  $\text{H}^+$  (プロトン) への変換は、炭酸脱水酵素によって触媒されます。

能動輸送は、 $\text{K}^+$  と交換して  $\text{H}^+$  を細胞内に送り込み、 $\text{Cl}^-$  と交換して基底細胞ドメインの対向輸送によって  $\text{HCO}_3^-$  を排出するために使用されます。  
細胞から  $\text{Cl}^-$  イオンが放出され、

細管を通過し、胃腺の腔内の陽子と結合して HCl を形成します。

基礎的に放出された重炭酸イオンは局所間質液に入る  
粘膜の中性 pH を維持するのに役立つ、粘液と微小血管に浸透します。その他の  
 $\text{HCO}_3^-$  は表面粘液細胞に取り込まれ、粘液の pH を上げるために使用されます。

細胞の側面に  $\text{H}^+$  が送り出され、 $\text{Cl}^-$  とともに  $\text{H}^+$  が細胞頂端から排出  
されます。内腔では、 $\text{H}^+$  イオンと  $\text{Cl}^-$  イオンが結合して HCl を  
形成します。胃液は高度に酸性になりますが、粘膜自体は粘膜固有層に放出され  
た重炭酸塩のせいで、より中性の pH を維持します。豊富なミトコンドリアは、主に細胞  
のイオンポンプを動作させるためのエネルギーを提供します。

壁細胞は糖タンパク質である内因子も分泌する。

小腸でのビタミン B12 の吸収に必要です。

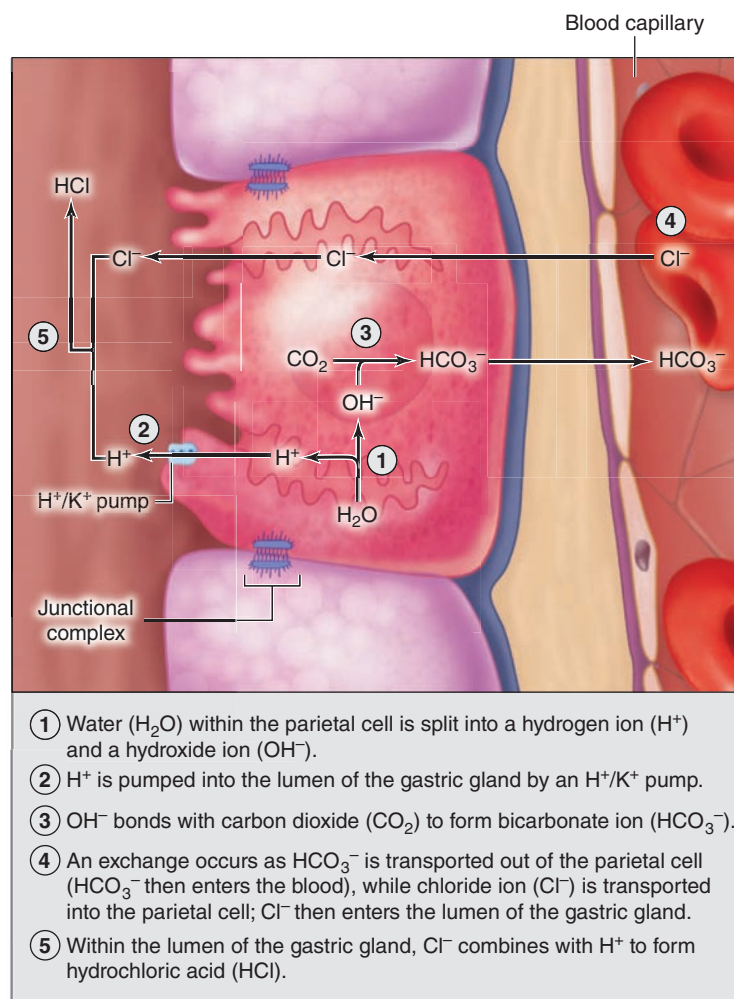
壁細胞の分泌活動は、副交感神経支配と副分泌の放出によって刺激され  
る。

腸内分泌細胞からヒスタミンとポリペプチドのガストリンを生成します。

#### ■主細胞 (酵素原細胞) は下半身に優位に働く

胃腺の領域 (図15-17) に存在し、活性タンパク質分泌細胞の特徴をすべて備えて  
います。超微細構造上の主細胞は、豊富な RER と多数の頂端分泌顆粒を示していま  
す (図15-20)。顆粒には不活性酵素ペプシノーゲンが含まれており、これは胃の酸  
性環境で活性ペプシン (ギリシャ語でペプティン、消化する) に変換される前駆  
体です。ペプシンは、幅広い特異性を持ち、pH 1.8~3.5 で最大活性を示すエンドプロ  
テアーゼです。ペプシンは、消化管の消化管への吸収を開始します。

FIGURE 15–19 Synthesis of HCl by parietal cells.



The main steps in the synthesis of HCl at parietal cells are indicated here. Conversion of  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CO}_2$  to  $\text{HCO}_3^-$  (**bicarbonate ion**) and  $\text{H}^+$  (**a proton**) is catalyzed by the enzyme carbonic anhydrase. Active transport is used to pump  $\text{H}^+$  into canaliculi in exchange for  $\text{K}^+$  and to discharge  $\text{HCO}_3^-$  by an antiport at the basal cell domain in exchange for  $\text{Cl}^-$ . The  $\text{Cl}^-$  ions diffuse from the cell into the

canaliculi and combine with protons in the lumen of the gastric gland to form HCl.

Basally released bicarbonate ions enter the local interstitial fluid and microvasculature, helping to maintain the neutral pH of the mucosa. Other  $\text{HCO}_3^-$  is taken up by surface mucous cells and used to raise the pH of mucus.

side of the cell and  $\text{H}^+$  is pumped from the cell apically, along with  $\text{Cl}^-$ . In the lumen the  $\text{H}^+$  and  $\text{Cl}^-$  ions combine to form HCl. While the gastric secretion becomes highly acidic, the mucosa itself remains at a more neutral pH partly because of the bicarbonate released into the lamina propria. The abundant mitochondria provide energy primarily for operating the cells' ion pumps.

Parietal cells also secrete **intrinsic factor**, a glycoprotein required for uptake of vitamin  $\text{B}_{12}$  in the small intestine.

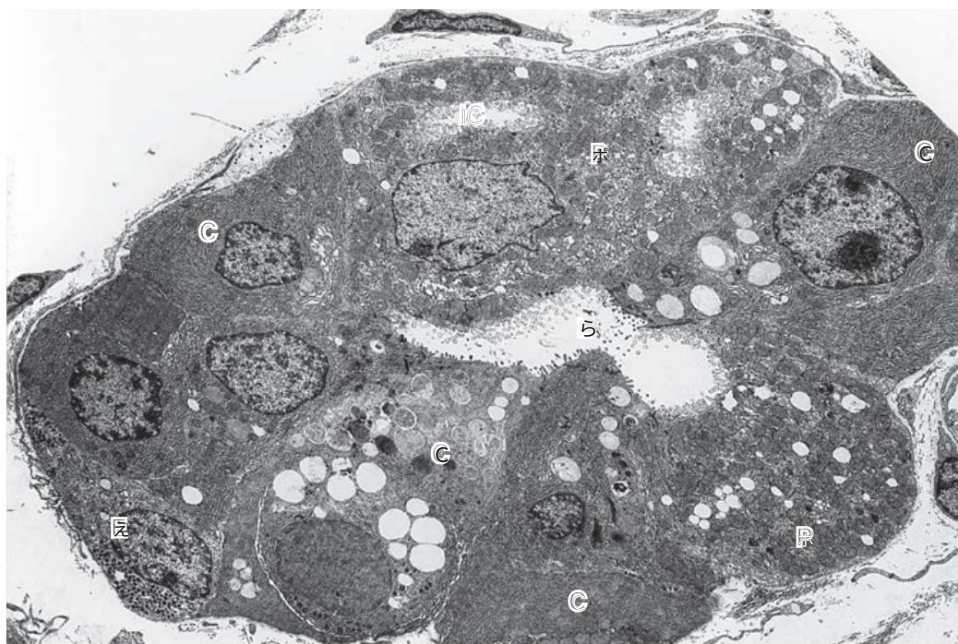
Parietal cell secretory activity is stimulated both by parasympathetic innervation and by paracrine release of

histamine and the polypeptide **gastrin** from enteroendocrine cells.

- **Chief (zymogenic) cells** predominate in the lower regions of the gastric glands (Figure 15–17) and have all the characteristics of active protein-secreting cells. Ultrastructurally chief cells show abundant RER and numerous apical secretory granules (Figure 15–20). The granules contain inactive enzyme **pepsinogens**, precursors which are converted in the acid environment of the stomach into active **pepsins** (Gr. *peptein*, to digest). Pepsins are endoproteinases with broad specificity and maximal activity at a pH between 1.8 and 3.5. Pepsins initiate the



図15～20壁細胞、主細胞、腸内分泌細胞の超微細構造。



胃腺の横断面の透過型電子顕微鏡写真では、3つの主要な細胞タイプの超微細構造が示されています。壁細胞 (P)には、豊富なミトコンドリアと細胞内小管 (IC)が含まれています。また、広範囲の粗面小胞体と頂端分泌細胞を持つ主細胞 (C)も示されています。

腸内分泌細胞(E)は基底分泌顆粒が密集しており、閉鎖型腸内分泌細胞です。つまり、腺の内腔と接触せず、内分泌/傍分泌的に分泌物を分泌します。(X1200)

摂取したタンパク質を胃で加水分解します。主細胞は、**多くの脂質を消化する胃リパーゼ**も生成します。

■**腸内分泌細胞**は、内分泌または傍分泌機能を持つ胃粘膜に散在する上皮細胞です。胃底部では、**セロトニン** (5-ヒドロキシトリプタミン)を分泌する小さな腸内分泌細胞が胃腺の基底膜に存在します (図 15～20)。幽門部では、ペプチドガストリンを産生する**G細胞**など、他の腸内分泌細胞が腺腔に接して存在します。

腸粘膜には、さまざまなホルモン (通常はペプチド)を分泌するさまざまな腸内分泌細胞も存在し、消化管の機能にとって非常に重要です。

重要な例を表15-1にまとめました。通常の光学顕微鏡ではほとんど見られないこれらの細胞は、クロムまたは銀塩で組織を処理するTEMで視覚化できます。別名**エンテロクロマン (EC)細胞**が提供されています。

それぞれ、**アルジェンタン細胞**とアルジェンタン細胞です。現在では、通常、その産物に対する抗体を使用して免疫組織化学的に視覚化され、それらが産生する主なホルモンの頭文字で命名されています (表 15-1)。これらの細胞のほとんどはアミンを処理し、「アミン前駆体の取り込みと脱炭酸」活性のために総称して**APUD細胞**とも呼ばれています。このような細胞はすべて、一般的には、**使用神経内分泌系 (DNES) の一部であると考えられており**、これについては第 20 章でさらに詳しく説明します。

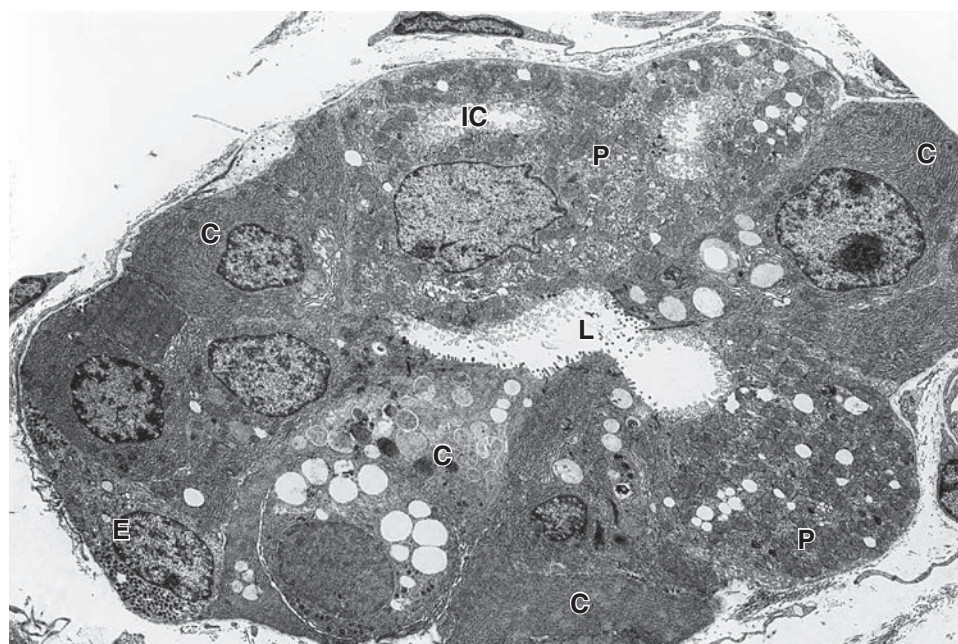
#### 医療用途

腸内分泌 EC 細胞から発生するカルチノイドと呼ばれる腫瘍は、セロトニンの過剰産生によって引き起こされる臨床症状の原因です。セロトニンは腸の運動性を高め、このホルモン/神経伝達物質の慢性的な高レベルは粘膜血管収縮と組織損傷を引き起こす可能性があります。

刺激を受けると、これらの細胞はホルモン産物を放出し、血管系を介して傍分泌 (局所的)または内分泌 (全身的)効果を発揮します。消化管の DNES 細胞は、細胞頂点が隣接する上皮細胞に覆われている「閉鎖型」と、細胞の狭窄した頂点が内腔に接触し、内腔の内容物を採取する化学受容器を持つ「開放型」の 2 つのクラスに分類されます。ホルモンの効果には、蠕動運動と管運動の調節、消化酵素、水、電解質の分泌、食事後の満腹感などがあります。

胃の噴門部と幽門部の粘膜には、長い穴のある管状腺があり、**噴門腺**と**幽門腺**と呼ばれるコイル状の分泌部分に分岐しています (図 15-21)。これらの腺には壁細胞と主細胞がなく、主に粘液を大量に分泌します。

**FIGURE 15–20** Ultrastructure of parietal, chief, and enteroendocrine cells.



TEM of a transversely sectioned gastric gland shows the ultrastructure of three major cell types. Parietal cells (P) contain abundant mitochondria and intracellular canaliculi (IC). Also shown are chief cells (C), which have extensive rough ER and apical secretory

granules near the lumen (L). An enteroendocrine cell (E) shows dense basal secretory granules and is a closed-type enteroendocrine cell; that is, it has no contact with the gland's lumen and secretes product in an endocrine/paracrine manner. (X1200)

hydrolysis of ingested protein in the stomach. Chief cells also produce **gastric lipase**, which digests many lipids.

- **Enteroendocrine cells** are scattered epithelial cells in the gastric mucosa with endocrine or paracrine functions. In the fundus small enteroendocrine cells secreting **serotonin** (5-hydroxytryptamine) are found at the basal lamina of the gastric glands (Figure 15–20). In the pylorus other enteroendocrine cells are located in contact with the glandular lumens, including **G cells** producing the peptide **gastrin**.

Various enteroendocrine cells secreting different hormones, usually peptides, are also found in the intestinal mucosa and are of major importance for function of the digestive tract. Important examples are summarized in Table 15–1. Seldom seen by routine light microscopy, these cells can be visualized by TEM tissue treatment with chromium or silver salts. This provided the alternative names **enterochromaffin (EC) cells** and **argentaffin cells**, respectively. Now usually visualized immunohistochemically using antibodies against their product, they are named with the initial letter of the main hormone they produce (Table 15–1). Most of these cells process amines and are also collectively called **APUD cells** for their “amine precursor uptake and decarboxylation” activity. All such cells are more generally considered part of the **diffuse neuroendocrine system (DNES)**, which is discussed further in Chapter 20.

### ► MEDICAL APPLICATION

Tumors called **carcinoids**, which arise from enteroendocrine EC cells, are responsible for the clinical symptoms caused by overproduction of serotonin. Serotonin increases gut motility, and chronic high levels of this hormone/neurotransmitter can produce mucosal vasoconstriction and tissue damage.

Upon stimulation, these cells release their hormone products that then exert paracrine (local) or endocrine (systemic) effects via the vasculature. Cells of the digestive tract DNES fall into two classes: a “closed” type, in which the cellular apex is covered by neighboring epithelial cells (Figure 15–20), and an “open” type, in which the constricted apical end of the cell contacts the lumen and bears chemoreceptors that sample the lumen's contents. Effects of the hormones include regulation of peristalsis and tract motility; secretion of digestive enzymes, water, and electrolytes; and the sense of being satiated after eating.

In the cardia and pylorus regions of the stomach, the mucosa also contains tubular glands, with long pits, branching into coiled secretory portions, called **cardiac glands** and **pyloric glands** (Figure 15–21). These glands lack both parietal and chief cells, primarily secreting abundant mucus.



表15-1消化管の主な腸内分泌細胞。			
細胞の種類 主な位置		主要なアクション	
		促進する	阻害する
D細胞	幽門、十二指腸、膵島	ソマトスタチン	近くの他のDNES細胞からの分泌
EC細胞	胃、小腸、大腸	セロトニンとサブスタンスP	腸の運動性の向上
G細胞	幽門	ガストリン	胃酸分泌
I細胞	小腸	コレシストキニン (CCK)	膵酵素分泌、胆嚢収縮 胃酸分泌
K細胞	十二指腸と空腸	胃抑制ポリペプチド (GIP)	胃酸分泌
L細胞	回腸と結腸	グルカゴン様ペプチド (GLP-1)	胃酸分泌 空腹感
L細胞	回腸と結腸	ペプチドYY	大腸におけるH2Oと電解質の吸収 胃酸分泌
Moセル	小腸	モチリン	腸の運動性の向上
N細胞	回腸	ニューロテンシン	胃酸分泌
S細胞	小腸	セクレチン	膵臓と胆汁の重炭酸塩と水分の分泌 胃酸分泌 胃の排出

その他のレイヤー

胃壁のその他の主な層は、図 15 ~ 14 および 15 ~ 15 にまとめられています。胃のすべての領域において、粘膜下層は、大きな血管とリンパ管、および多くのリンパ球、マクロファージ、および肥満細胞を含む結合組織で構成されています。筋層には、外側の縦層、中間の円形層、および最も内側の斜層という、あまり定義されていない3つの平滑筋層があります。筋層の律動的な収縮により、摂取した食物と糜粥が、胃粘膜からの粘液、HCl、および消化酵素と完全に混合されます。

幽門では中間層が非常に厚くなり、幽門括約筋を形成します。胃は薄い漿膜で覆われています。

小腸

小腸は、消化プロセスが完了し、栄養素（消化産物）が上皮内層の細胞によって吸収される場所です。小腸は比較的長く（約 5 m）、十二指腸、空腸、回腸の3つの部分で構成されています。これらの部分にはほとんどの組織学的特徴が共通しているため、まとめて説明します。

»医療用途

平滑筋腫は、平滑筋細胞の良性腫瘍で、胃や小腸で最も一般的な腫瘍であり、大きくなることがあります。剖検記録によると、50歳以上の人口の最大50%で胃の筋層に平滑筋腫が含まれている可能性があります。

粘膜

肉眼で見ると、小腸の内壁は、粘膜と粘膜下組織からなる一連の円形または半月状の襞（円形襞）を示し（図 15-22a および 15-23）、空腸で最もよく発達しています。小腸の粘膜全体を密に覆っているのは、短い（0.5~1.5 mm）粘膜突起で、この突起は内腔に突出しています（図 15-22）。これらの乳頭状または漏斗状の突起は、腸管上皮細胞と呼ばれる吸収細胞の単純な円柱上皮で覆われており、その間に多くの杯細胞が散在しています。各絨毛は粘膜固有層から伸びる疎性結合組織の核を持ち、その中には線維芽細胞、平滑筋線維、リンパ球および形質細胞、窓明き毛細血管、および乳管と呼ばれる中心リンパ管が含まれています。

»医療用途

セリアック病（セリアック病スプルー）は、吸収不良を引き起こし、絨毛の損傷や破壊につながる可能性がある小腸粘膜の障害です。セリアック病の原因は、小麦やその他の特定の穀物に含まれるグルテンやその他のタンパク質に対する免疫反応です。その結果生じる炎症が腸管細胞に影響を及ぼし、栄養素の吸収が低下します。

絨毛の間には腸腺または陰窩（またはリーベルキューン陰窩）と呼ばれる短い管状腺の開口部があり、各絨毛の上皮は介在腺の上皮と連続しています（図 15-22c）。

**TABLE 15-1** Principal enteroendocrine cells in the gastrointestinal tract.

Cell Type	Major Location	Hormone Produced	Major Action	
			Promotes	Inhibits
D cells	Pylorus, duodenum, and pancreatic islets	Somatostatin		Secretion from other DNES cells nearby
EC cells	Stomach, small and large intestines	Serotonin and substance P	Increased gut motility	
G cells	Pylorus	Gastrin	Gastric acid secretion	
I cells	Small intestine	Cholecystokinin (CCK)	Pancreatic enzyme secretion, gallbladder contraction	Gastric acid secretion
K cells	Duodenum and jejunum	Gastric inhibitory polypeptide (GIP)		Gastric acid secretion
L cells	Ileum and colon	Glucagon-like peptide (GLP-1)	Insulin secretion	Gastric acid secretion Sense of hunger
L cells	Ileum and colon	Peptide YY	H <sub>2</sub> O and electrolyte absorption in large intestine	Gastric acid secretion
Mo cells	Small intestine	Motilin	Increased gut motility	
N cells	Ileum	Neurotensin		Gastric acid secretion
S cells	Small intestine	Secretin	Pancreatic and biliary bicarbonate and water secretion	Gastric acid secretion Stomach emptying

## Other Layers

The other major layers of the stomach wall are summarized in Figures 15–14 and 15–15. In all stomach regions the **submucosa** is composed of connective tissue with large blood and lymph vessels and many lymphoid cells, macrophages, and mast cells. The **muscularis** has three poorly defined layers of smooth muscle: an outer longitudinal layer, a middle circular layer, and an innermost oblique layer. Rhythmic contractions of the muscularis thoroughly mix ingested food and chyme with mucus, HCl, and digestive enzymes from the gastric mucosa. At the pylorus the middle layer is greatly thickened to form the **pyloric sphincter**. The stomach is covered by a thin **serosa**.

## ► SMALL INTESTINE

The small intestine is the site where the digestive processes are completed and where the nutrients (products of digestion) are absorbed by cells of the epithelial lining. The small intestine is relatively long—approximately 5 m—and consists of three segments: the **duodenum**, **jejunum**, and **ileum**. These segments have most histologic features in common and are discussed together.

### ►► MEDICAL APPLICATION

**Leiomyomas**, benign tumors of smooth muscle cells, are the most common type of tumor in the stomach and small intestine and may become large. Autopsy records suggest that the muscularis of the stomach may include leiomyomas in up to 50% of the population older than 50 years.

## Mucosa

Viewed macroscopically, the lining of the small intestine shows a series of permanent circular or semilunar folds (**plicae circulares**), consisting of mucosa and submucosa (Figures 15–22a and 15–23), which are best developed in the jejunum. Densely covering the entire mucosa of the small intestine are short (0.5–1.5 mm) mucosal outgrowths called **villi** that project into the lumen (Figure 15–22). These finger- or leaflike projections are covered by a simple columnar epithelium of absorptive cells called **enterocytes**, with many interspersed **goblet cells**. Each villus has a core of loose connective tissue that extends from the lamina propria and contains fibroblasts, smooth muscle fibers, lymphocytes and plasma cells, fenestrated capillaries, and a central lymphatic called a **lacteal**.

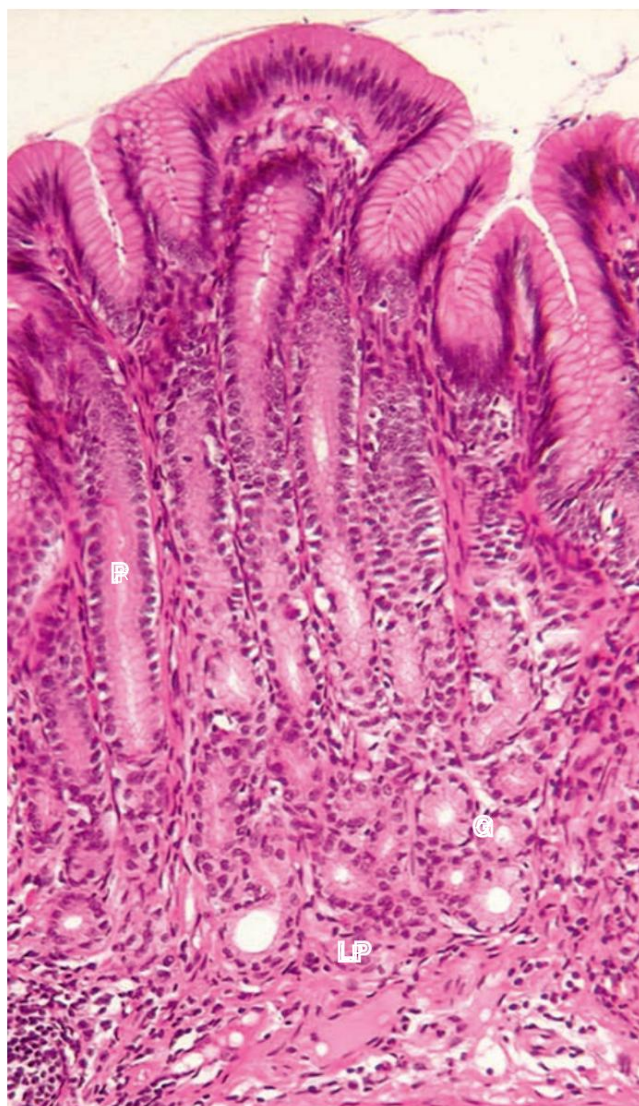
### ►► MEDICAL APPLICATION

**Celiac disease (celiac sprue)** is a disorder of the small intestine mucosa that causes **malabsorption** and can lead to damage or destruction of the villi. The cause of celiac disease is an immune reaction against gluten or other proteins in wheat and certain other types of grain. The resulting inflammation affects the enterocytes, leading to reduced nutrient absorption.

Between the villi are the openings of short tubular glands called **intestinal glands** or **crypts** (or **crypts of Lieberkühn**) and the epithelium of each villus is continuous with that of the intervening glands (Figure 15–22c). The epithelium of the



図15~21 幽門腺。



胃の幽門領域には深い胃小窩(P)があり、粘膜固有層(LP)内の短くコイル状の幽門腺(G)につながっています。  
心臓腺は組織学的にも機能的にもかなり類似しています。  
これらの腺の細胞は主に粘液とリゾチームを分泌し、少数の腸内分泌 G 細胞も存在します。腺と小窩は毛細血管、リンパ管、MALT を含む粘膜固有層結合組織の細胞に囲まれています。腺のすぐ下には粘膜筋板の平滑筋層があります。(X140; H&E)

腸腺には、小腸のすべての細胞タイプの分化細胞と多能性幹細胞が含まれます。これには次のものが含まれます。ese

- 吸収細胞である腸上皮細胞は、背の高い円柱状の細胞で、それぞれ基底部に楕円形の核を持っています(図15-24)。各腸上皮細胞の先端部には、顕著な

条線(または刷毛)境界と呼ばれる秩序だった領域。

超微細構造的には、線条の境界は、グリコカリックスで覆われた密集した微絨毛の層として見られる。

腸管上皮細胞は、栄養分を細胞内に取り込むための管腔構造を持っています(図15-22e および 15-24c)。第4章で説明したように、各微絨毛は、細胞質頂端から突出した高さ約1 μm、直径0.1 μmの円筒形で、アクチン繊維を含み、細胞膜に囲まれています。各腸管上皮細胞には平均3000個の微絨毛があり、粘膜表面1 mm<sup>2</sup>あたり約2億個の微絨毛構造が含まれています。微絨毛、絨毛、および円嚢はすべて、管腔内の栄養分と接触する粘膜表面積を大幅に増加させます。これは、栄養分の吸収に特化した器官にとって重要な特徴です。皺襞によって腸の表面積が3倍、絨毛によって10倍、微絨毛によってさらに20倍に増加し、小腸の総吸収面積は200 m<sup>2</sup>を超えると推定されています。

栄養素の吸収メカニズムは、消化によって生成されるさまざまな分子によって異なります。腸上皮細胞から分泌され、グリコカリックス内に存在する二糖類分解酵素とペプチダーゼは、二糖類とジペプチドを単糖類とアミノ酸に加水分解します。これらは能動輸送によって容易に吸収され、すぐに腸上皮細胞から放出されて毛細血管に取り込まれます。胃と脾臓のリパーゼによる脂肪の消化によって、グリセロール、モノグリセリド、脂肪酸などの脂質サブユニットが生成され、胆汁酸塩によって小さな(2 nm)ミセルに乳化され、そこから脂質が受動拡散と膜輸送体によって腸上皮細胞に入ります。これらの脂質は腸管上皮細胞の滑面小胞体でトリグリセリドに再エステル化され、その後ゴルジ体でアポタンパク質と複合されてキロミクロンとなり、細胞の基底外側表面から排出されて乳糜に取り込まれます。図15-25は脂質吸収の基本的な側面をまとめたものです。

- 杯細胞は吸収細胞の間に散在している

腸管上皮細胞(図15-22d および 15-24a,b)。腸管上皮細胞は糖タンパク質ムチンを分泌し、これが水和して粘液を形成します。粘液の主な機能は腸の内壁を保護し、潤滑することです。

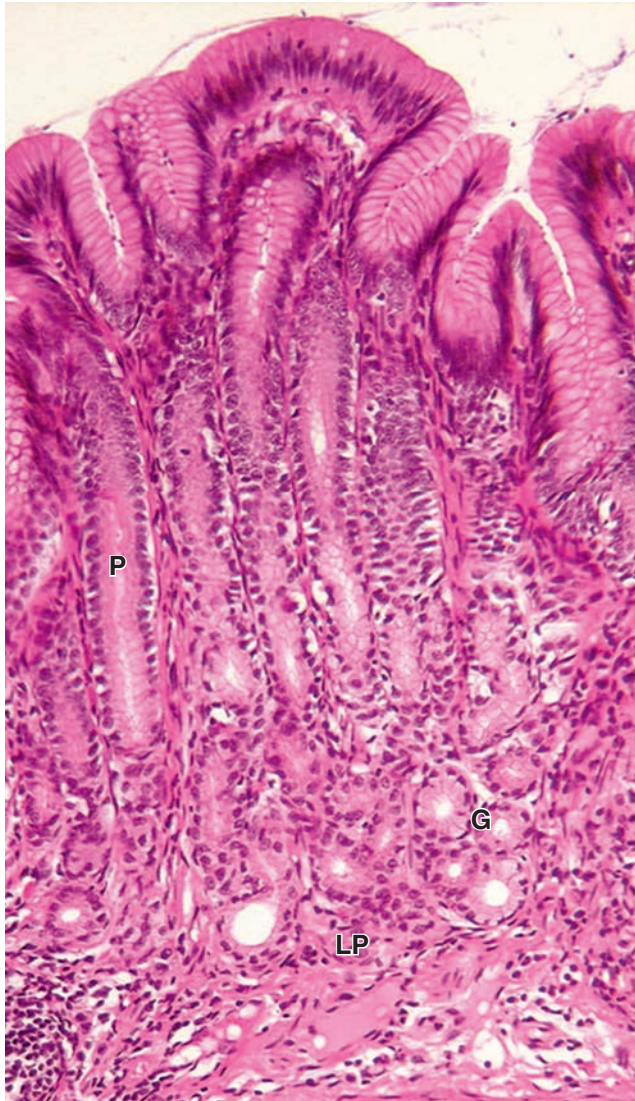
- パネート細胞は、腸の基底部に位置し、

パネート細胞は幹細胞の下にある陰窩で、頂端細胞質に大きな好酸性分泌顆粒を持つ外分泌細胞です(図15-26)。パネート細胞顆粒はリゾチーム、ホスホリパーゼA2、およびディフェンシンと呼ばれる疎水性ペプチドを放出し、これらはすべて微生物の膜や細菌細胞壁に結合して破壊します。

パネート細胞は、自然免疫と腸陰窩の微小環境の調節において重要な役割を果たします。

- 腸内分泌細胞は小腸全体にさまざまな数で存在し、さまざまなペプチドホルモンを分泌する(表15-1)。その多くは「開放型」で、狭窄した頂端細胞が

FIGURE 15-21 Pyloric glands.



The pyloric region of the stomach has deep gastric pits (**P**) leading to short, coiled pyloric glands (**G**) in the lamina propria (**LP**). Cardiac glands are rather similar histologically and functionally. Cells of these glands secrete mucus and lysozyme primarily, with a few enteroendocrine G cells also present. The glands and pits are surrounded by cells of the lamina propria connective tissue containing capillaries, lymphatics, and MALT. Immediately beneath the glands is the smooth muscle layer of the muscularis mucosae. (X140; H&E)

intestinal glands includes differentiating cells and pluripotent stem cells for all the cell types of the small intestine. These include the following:

- **Enterocytes**, the absorptive cells, are tall columnar cells, each with an oval nucleus located basally (Figure 15-24). The apical end of each enterocyte displays a prominent

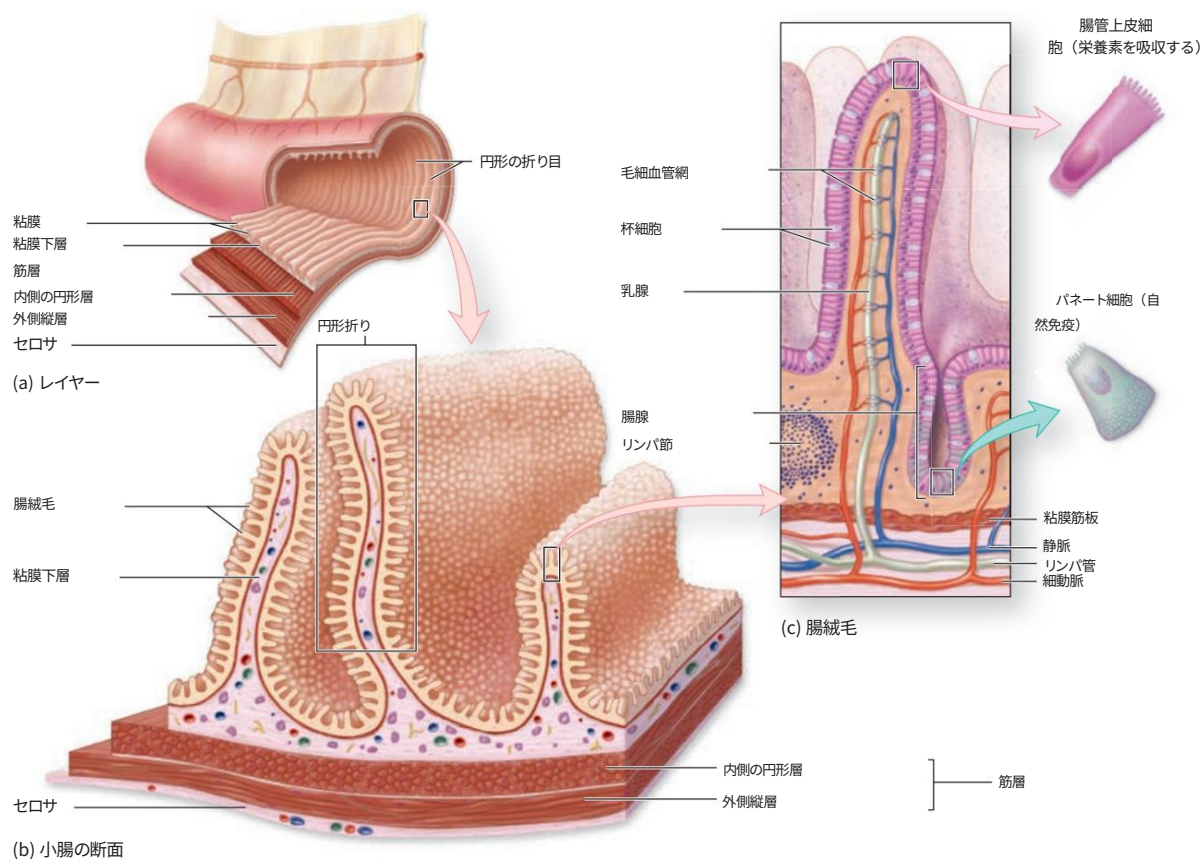
ordered region called the **striated (or brush) border**. Ultrastructurally the striated border is seen to be a layer of densely packed **microvilli** covered by **glycocalyx** through which nutrients are taken into the cells (Figures 15-22e and 15-24c). As discussed in Chapter 4, each microvillus is a cylindrical protrusion of the apical cytoplasm approximately 1- $\mu\text{m}$  tall and 0.1  $\mu\text{m}$  in diameter containing actin filaments and enclosed by the cell membrane. Each enterocyte has an average of 3000 microvilli and each 1  $\text{mm}^2$  of mucosal surface contains about 200 million of these structures. Microvilli, villi, and the plicae circulares all greatly increase the mucosal surface area in contact with nutrients in the lumen, which is an important feature in an organ specialized for nutrient absorption. It is estimated that plicae increase the intestinal surface area 3-fold, the villi increase it 10-fold, and the microvilli increase it another 20-fold, resulting in a total absorptive area of over 200  $\text{m}^2$  in the small intestine!

The mechanism of nutrient absorption varies with the different molecules produced by digestion. Disaccharidases and peptidases secreted by the enterocytes and located within the glycocalyx hydrolyze disaccharides and dipeptides into monosaccharides and amino acids. These are easily absorbed by active transport and immediately released again from the enterocytes for uptake by the capillaries. Digestion of fats by gastric and pancreatic lipases produces lipid subunits, including glycerol, monoglycerides, and fatty acids, which are emulsified by bile salts into small (2 nm) micelles from which lipids enter enterocytes by passive diffusion and membrane transporters. These lipids are reesterified into triglycerides in the enterocyte smooth ER and then complexed with apoproteins in the Golgi apparatus, producing **chylomicrons** that are discharged from the cell's basolateral surface for uptake by the lacteal. Figure 15-25 summarizes basic aspects of lipid absorption.

- **Goblet cells** are interspersed among the absorptive enterocytes (Figures 15-22d and 15-24a, b). They secrete glycoprotein mucins, which are then hydrated to form mucus, whose main function is to protect and lubricate the lining of the intestine.
- **Paneth cells**, located in the basal portion of the intestinal crypts below the stem cells, are exocrine cells with large, eosinophilic secretory granules in their apical cytoplasm (Figure 15-26). Paneth cell granules release lysozyme, phospholipase  $A_2$ , and hydrophobic peptides called **defensins**, all of which bind and break down membranes of microorganisms and bacterial cell walls. Paneth cells have an important role in innate immunity and in regulating the microenvironment of the intestinal crypts.
- **Enteroendocrine cells** are present in varying numbers throughout the length of the small intestine, secreting various peptide hormones (Table 15-1). Many of these are of the "open" type, in which the constricted apical



## 図15~22小腸の吸収面。



(d)腸絨毛

(e)微絨毛

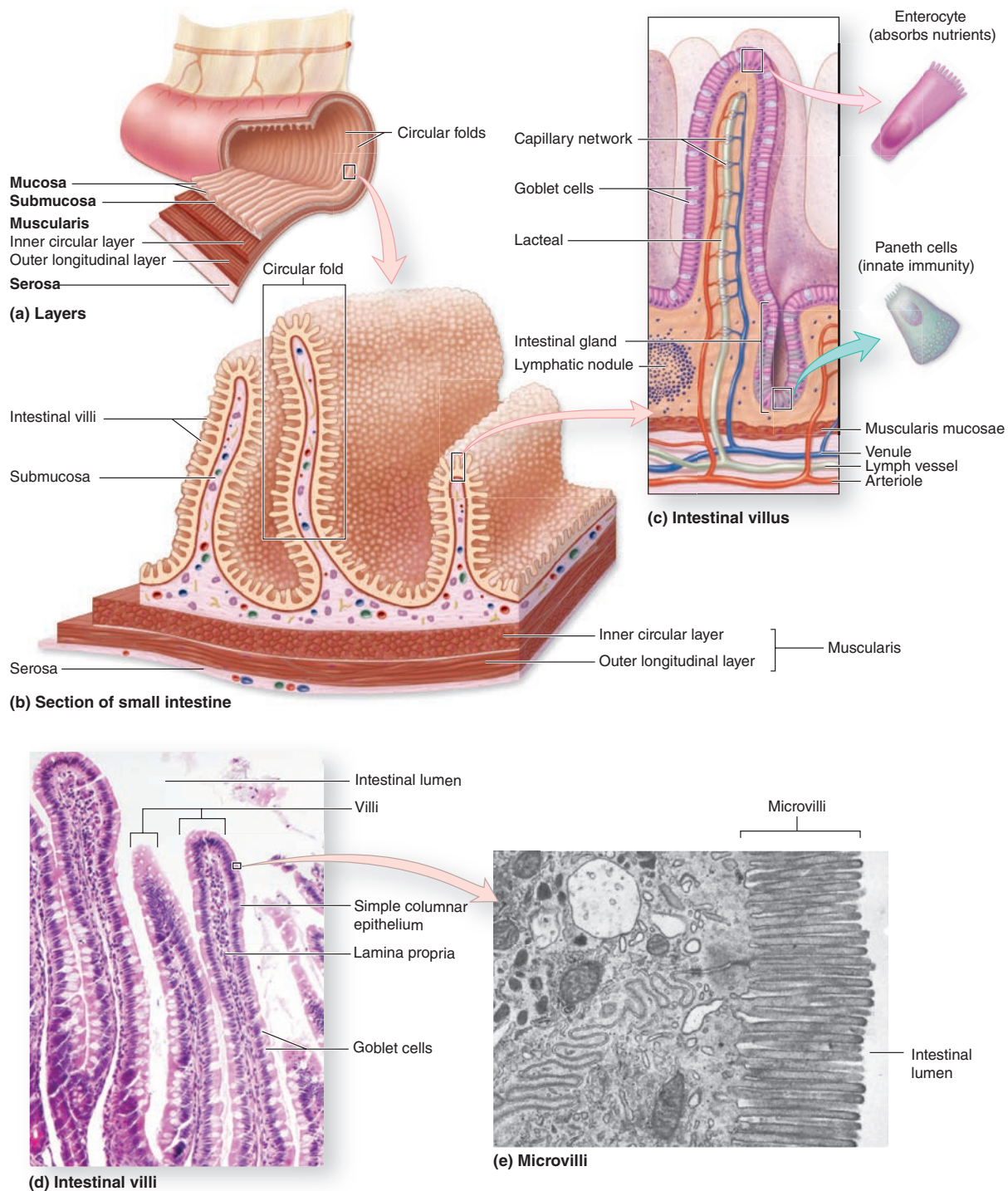
(a)粘膜と粘膜下層は、腸の4つの同心円状の層のうち内側の2つです。(b)これらは円形のひだまたは環

状襞を形成し、吸収面積を増やします。(c)これらは、絨毛と呼ばれる指のような突起の密集した覆いで裏

打ちされています。内部では、各絨毛には、乳管と呼ばれる微小血管とリンパ管を含む粘膜固有層の結合組織が含まれています。

(d)絨毛は、吸収性腸管上皮細胞と杯細胞からなる単純な円柱上皮で覆われています。(X70; H&E) (e)各腸管上皮細胞の頂端細胞膜には、細胞の吸収

表面積を大幅に増加させる密な微絨毛が存在します。(X18,000; TEM)

**FIGURE 15–22 Absorptive surface of the small intestine.**

**(a)** The **mucosa** and **submucosa** are the inner two of the gut's four concentric layers.

**(b)** They form circular folds or **plicae circulares**, which increase the absorptive area.

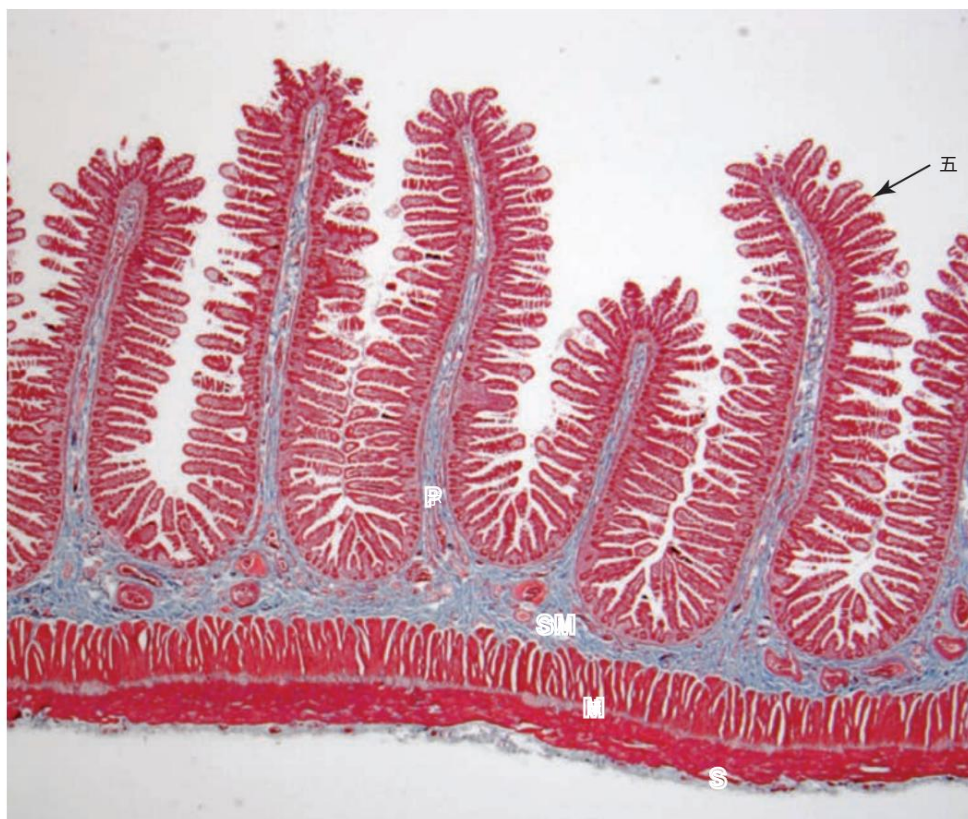
**(c)** They are lined by a dense covering of fingerlike projections called **villi**. Internally each villus contains lamina propria connective tissue with microvasculature and lymphatics called **lacteals**.

**(d)** Villi are covered with a simple columnar epithelium composed of absorptive enterocytes and goblet cells. (X70; H&E)

**(e)** At the apical cell membrane of each enterocyte are located dense **microvilli**, which serve to increase greatly the absorptive surface of the cell. (X18,000; TEM)



図15~23小腸の円形ひだ（円形襞）。



小腸の粘膜と粘膜下層 (SM)は、襞 (P)と呼ばれる明確な突出したひだを形成し、内周を取り囲むか螺旋状になっており、空腸で最も発達しています。各ひだの上で粘膜は絨毛 (V)と呼ばれる突出した構造の密な覆いを形成します。この縦断面では、

筋層(M)は2つの層に明確に区別されます。内側の層には粘膜下層を取り囲む平滑筋があり、外側の層は腸の外層である漿膜 (S) の内側を縦に走っています。この平滑筋の配置により、腸の内容物の強力な蠕動運動が可能になります。(X12; マッソン三重層)

細胞の末端は腸管腔に接しており、味蕾に似た化学受容器を持ち、糖などの特定の栄養素のレベルをサンプリングして、ホルモンの放出を基礎的に調節します (図15-27)。

■ **M (マイクロフォールド) 細胞**は、粒子や微生物の上皮透過輸送に特化した独特な上皮細胞で、主に回腸粘膜のパイエル板のリンパ濾胞上に存在します。第14章で説明したように、各M細胞には深く陥入した基底外側膜によって形成されたポケットがあり、その中にリンパ球とマクロファージが含まれています (図14-13c,dを参照)。

M細胞と、M細胞内およびM細胞の下にある免疫細胞による腸内微生物の継続的なサンプリングは、粘膜免疫によって提供される防御の重要な部分です。

腸管粘膜固有層は腸絨毛の中心部を貫通し、微小血管、リンパ管、神経を運びます (図15~22cおよび15~28)。

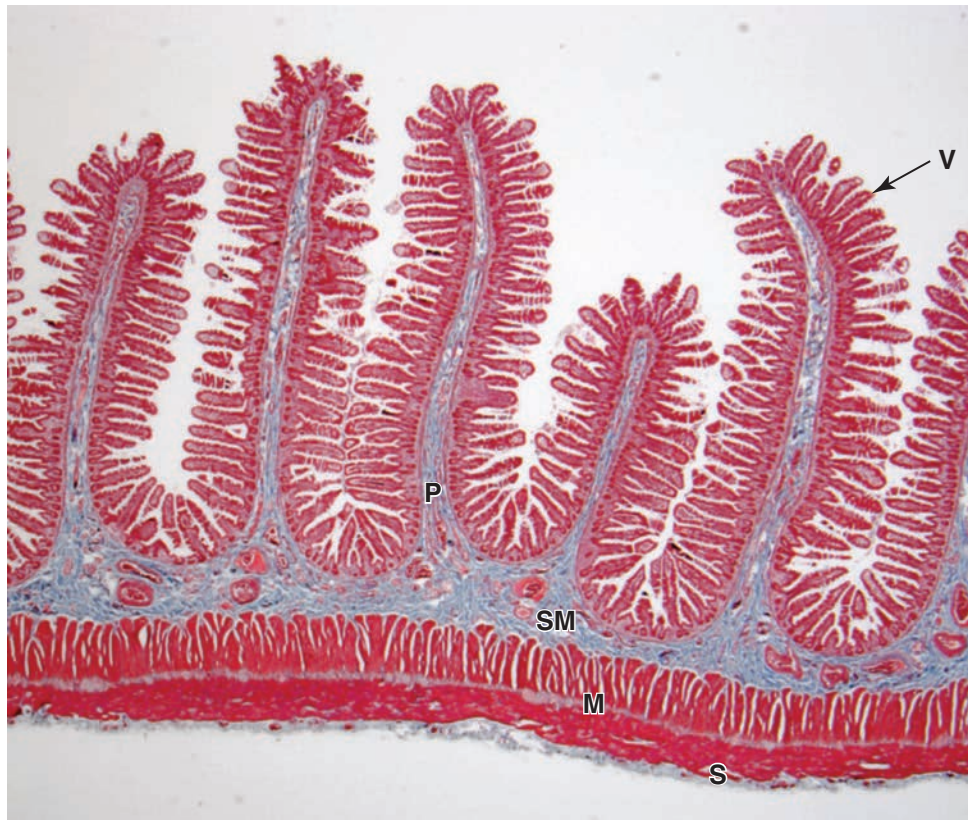
粘膜筋板から伸びる平滑筋繊維は絨毛のリズミカルな動きを生み出し、吸収効率を高めます。粘膜筋板の繊維はまた、乳管から粘膜下リンパ管および腸間膜リンパ管へのリンパの推進を助ける環状襞の局所的な動きを生み出します。

十二指腸の粘膜下層には、より大きな血管とリンパ管、および**粘膜下 (マイスナー)神経叢の相互接続されたニューロンが分布しています**。十二指腸の近位部には、粘膜下層と粘膜に、**十二指腸 (またはブルンナー)腺**と呼ばれる分岐した管状の粘液腺の大きな塊があり、腸陰窩の間に小さな排泄管が開いています (図15-29)。これらの腺からの粘液は明らかにアルカリ性 (pH 8.1-9.3)で、幽門から十二指腸に入る糜粥を中和し、粘膜を保護し、腸の内容物を消化管の最適なpHに調整します。

### その他のレイヤー

小腸全体にわたって粘膜固有層の疎性結合組織には、広範囲の血液と

**FIGURE 15–23** Circular folds (plicae circulares) of the jejunum.



The mucosa and submucosa (**SM**) of the small intestine form distinct projecting folds called plicae (**P**), which encircle or spiral around the inner circumference and are best developed in the jejunum. On each fold the mucosa forms a dense covering of projecting structures called villi (**V**). In this longitudinal section the

two layers of the muscularis (**M**) are clearly distinguished. The inner layer has smooth muscle encircling the submucosa; the outer layer runs lengthwise just inside the serosa (**S**), the gut's outer layer. This arrangement of smooth muscle provides for strong peristaltic movement of the gut's contents. (X12; Masson trichrome)

end of the cell contacts the intestinal lumen and has chemoreceptors similar to those of taste buds, sampling levels of certain nutrients such as sugars to regulate hormone release basally (Figure 15–27).

- **M (microfold) cells** are unique epithelial cells specialized for transepithelial transport of particles and microorganisms, located mainly in the ileum's mucosa overlying the lymphoid follicles of Peyer patches. As discussed in Chapter 14, each M cell has a pocket formed by the deeply invaginated basolateral membrane and containing lymphocytes and macrophages (see Figure 14–13c,d). Continuous sampling of intestinal microorganisms by the M cells and the immune cells within and below the M cells is an important part of the defense provided by mucosal immunity.

## Other Layers

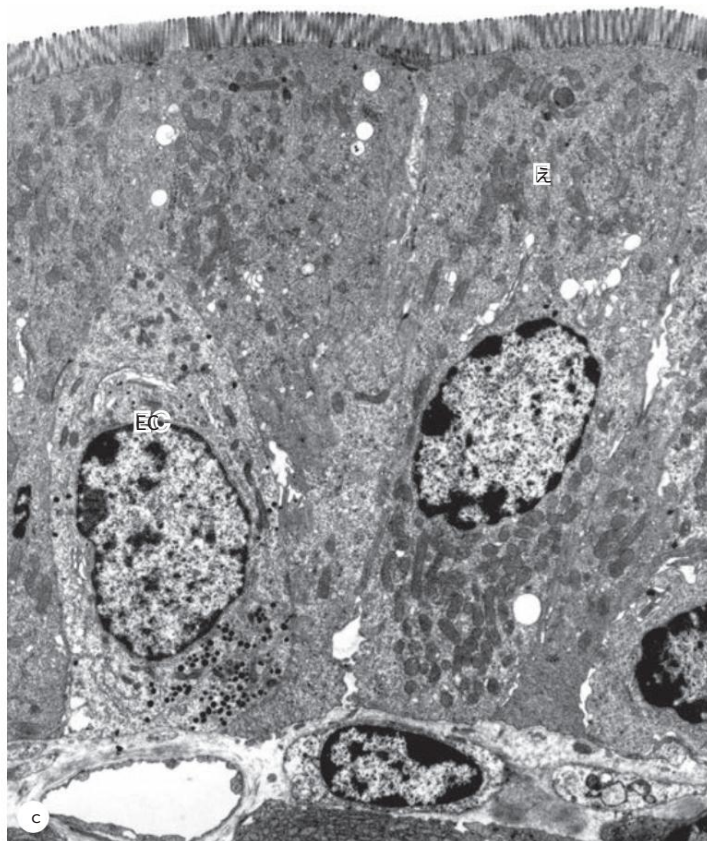
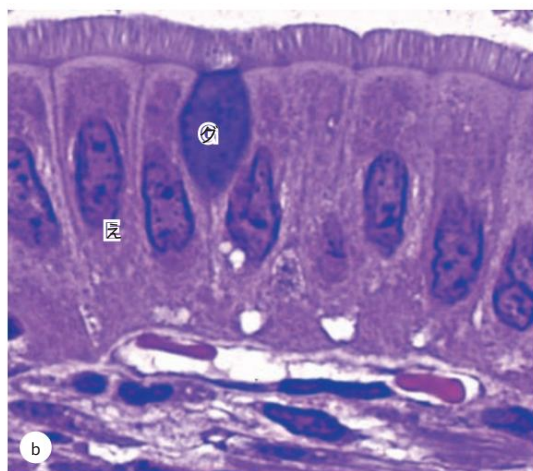
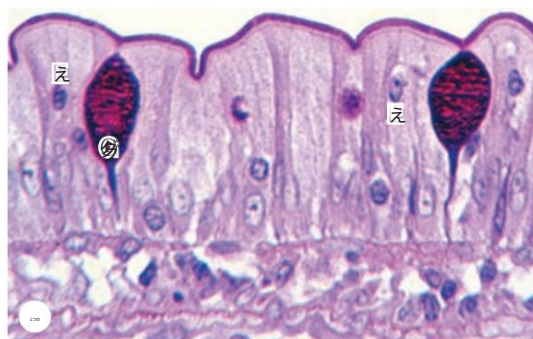
Along the entire small intestine loose connective tissue of the mucosal lamina propria contains extensive blood and

lymph microvasculature, nerve fibers, smooth muscle cells, and diffuse lymphoid tissue. The lamina propria penetrates the core of each intestinal villus, bringing with it microvasculature, lymphatics, and nerves (Figures 15–22c and 15–28). Smooth muscle fibers extending from the muscularis mucosae produce rhythmic movements of the villi that increase the absorption efficiency. Fibers of the muscularis mucosae also produce local movements of plicae circulares that help propel lymph from the lacteals into submucosal and mesenteric lymphatics.

The submucosa has larger blood and lymph vessels and the diffuse, interconnected neurons of the **submucosal (Meissner) nerve plexus**. The proximal part of the duodenum has in the submucosa and mucosa large clusters of branched tubular mucous glands, the **duodenal (or Brunner) glands**, with small excretory ducts opening among the intestinal crypts (Figure 15–29). Mucus from these glands is distinctly alkaline (pH 8.1–9.3), which neutralizes chyme entering the duodenum from the pylorus, protecting the mucous membrane, and bringing the intestinal contents to the optimum pH for



図15-24絨毛を覆う細胞。



(a)腸絨毛を覆う円柱上皮は、主に背の高い吸収性腸細胞(E)で構成されています。これらの細胞の先端は結合し、微絨毛の刷子縁で覆われています。刷子縁は糖タンパク質の膜で覆われており、粘液を分泌する杯細胞(G)とともに炭水化物染色法で染色されます。上皮の他の細胞には、通常の標本では識別が難しい散在する腸内分泌細胞や、上皮内細胞などのさまざまな免疫細胞があります。

リンパ球。腸管上皮細胞の間にリンパ球の小さな球状の核が見える。(X250; PAS ヘマトキシリン)

(b)倍率を上げると、腸管上皮細胞の個々の微絨毛がよりよく見え、境界の縞模様がはっきりと見える。(X500)

(c) TEM では、腸管上皮細胞(E)の微絨毛と密集したミトコンドリアが示されており、基底分泌顆粒を持つ腸内分泌細胞(EC)が基底膜に沿って区別できます。(X2500)

胼酵素の作用。回腸では、粘膜前層と粘膜下層の両方に、上皮M細胞の下にあるパイエル板と呼ばれる大きなリンパ節集合体からなる、よく発達した粘膜関連リンパ組織(MALT)が含まれています。

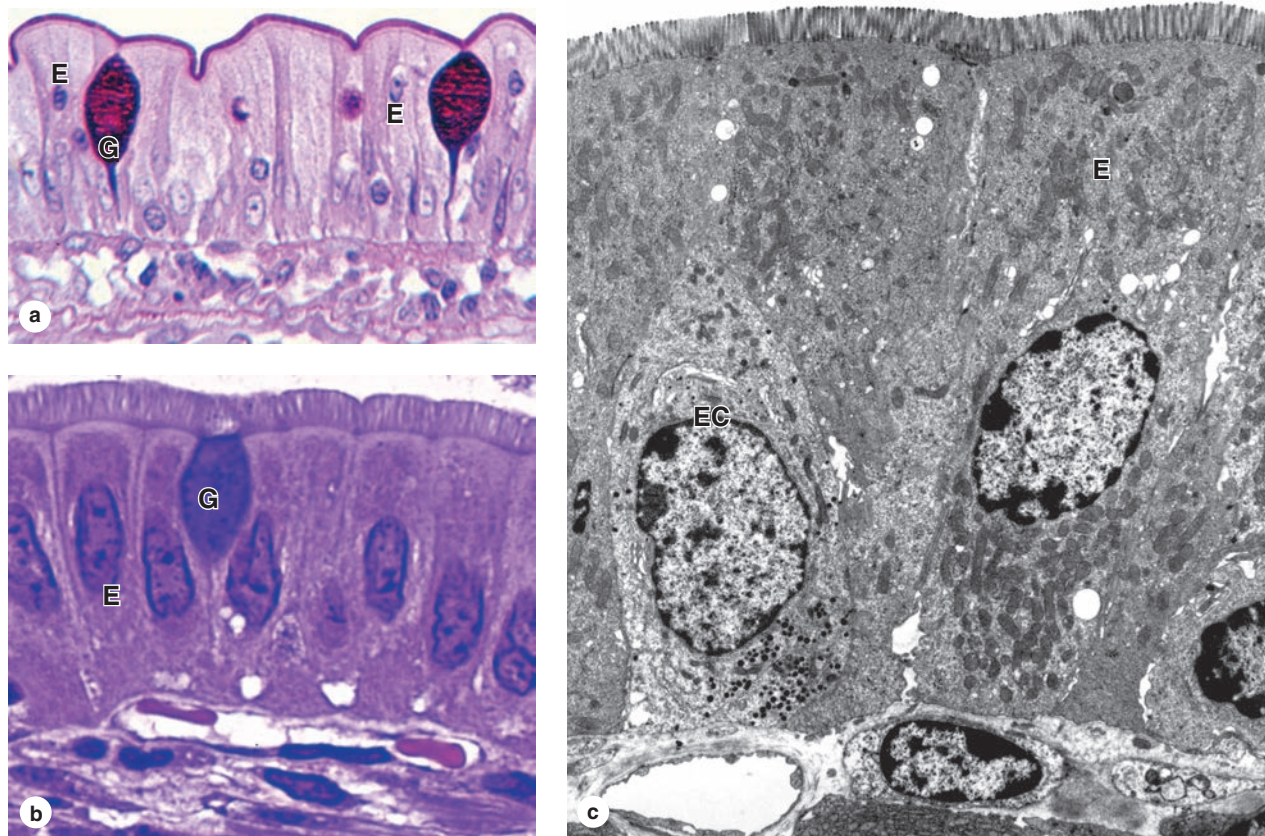
小腸では筋層がよく発達しており、内側の環状層、外側の縦層、およびそれらの間の蠕動運動を生み出す筋層間(アウエルバッシュ)神経叢のニューロンで構成されています(図15-30)。粘膜下神経叢と筋層間神経叢のニューロンはどちらも主に自律神経系であり、まとめて大腸神経系を構成しています。小腸は薄い漿膜で覆われており、中皮は腸間膜と連続しています(図15-22a)。

#### 医療用途

クローン病は、回腸または結腸に最も多く発生する慢性炎症性腸疾患であり、免疫、環境、遺伝的要因の組み合わせが原因ですが、その原因は十分に解明されていません。腸管壁のいずれかまたはすべての層で過剰なリンパ球活動と炎症が発生し、痛み、局所的な出血、吸収不良、下痢を引き起こします。

#### 大腸

大腸は水分と電解質を吸収し、消化できない物質を便に形成する部分で、次のような部位があります。回盲弁と短盲腸です。

**FIGURE 15–24** Cells covering the villi.

**(a)** The columnar epithelium that covers intestinal villi consists mainly of the tall absorptive enterocytes (**E**). The apical ends of these cells are joined and covered by a **brush border** of microvilli. Covered by a coating of glycoproteins, the brush border, along with the mucus-secreting goblet cells (**G**), stains with carbohydrate staining methods. Other cells of the epithelium are scattered enteroendocrine cells, which are difficult to identify in routine preparations, and various immune cells such as intraepithelial

lymphocytes. The small spherical nuclei of lymphocytes can be seen between the enterocytes. (X250; PAS-hematoxylin)

**(b)** At higher magnification individual **microvilli** of enterocytes are better seen and the striated appearance of the border is apparent. (X500)

**(c)** TEM shows microvilli and densely packed mitochondria of enterocytes (**E**), and enteroendocrine cells (**EC**) with basal secretory granules can be distinguished along the basal lamina. (X2500)

pancreatic enzyme action. In the ileum both the lamina propria and submucosa contain well-developed mucosa-associated lymphoid tissue (MALT), consisting of the large lymphoid nodule aggregates known as **Peyer patches** underlying the epithelial M cells.

The muscularis is well developed in the small intestine, composed of an internal circular layer, an external longitudinal layer, and between them the neurons of the **myenteric (Auerbach) nerve plexus** which produce peristalsis (Figure 15–30). Neurons of both the submucosal and myenteric plexuses are largely autonomic and collectively make up the large enteric nervous system. The small intestine is covered by a thin serosa with mesothelium continuous with that of mesenteries (Figure 15–22a).

### ➤ MEDICAL APPLICATION

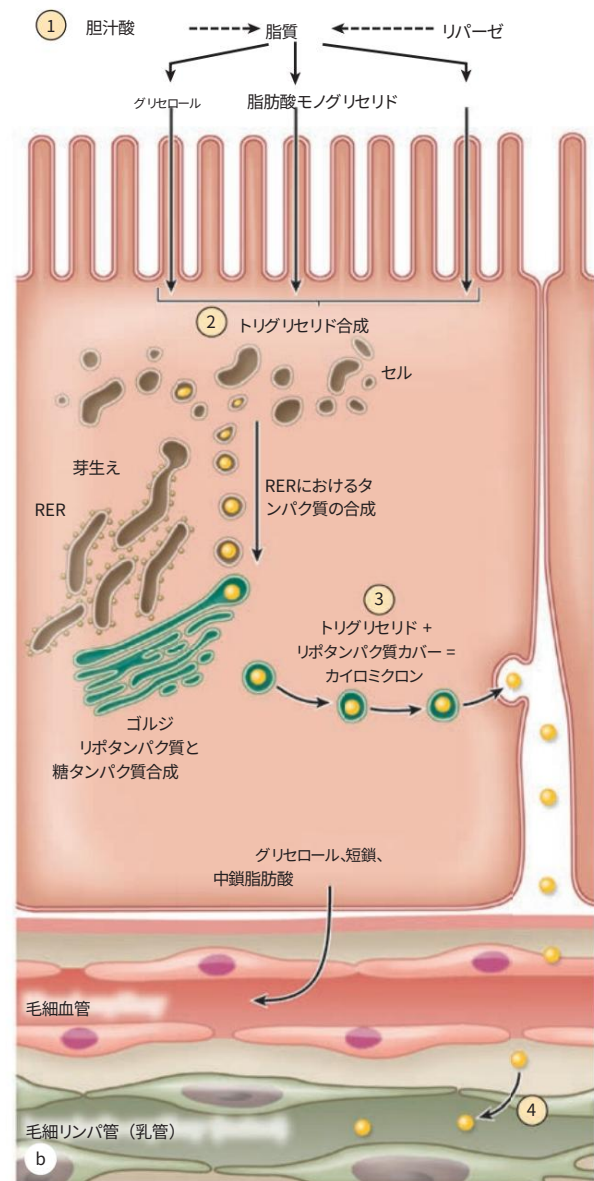
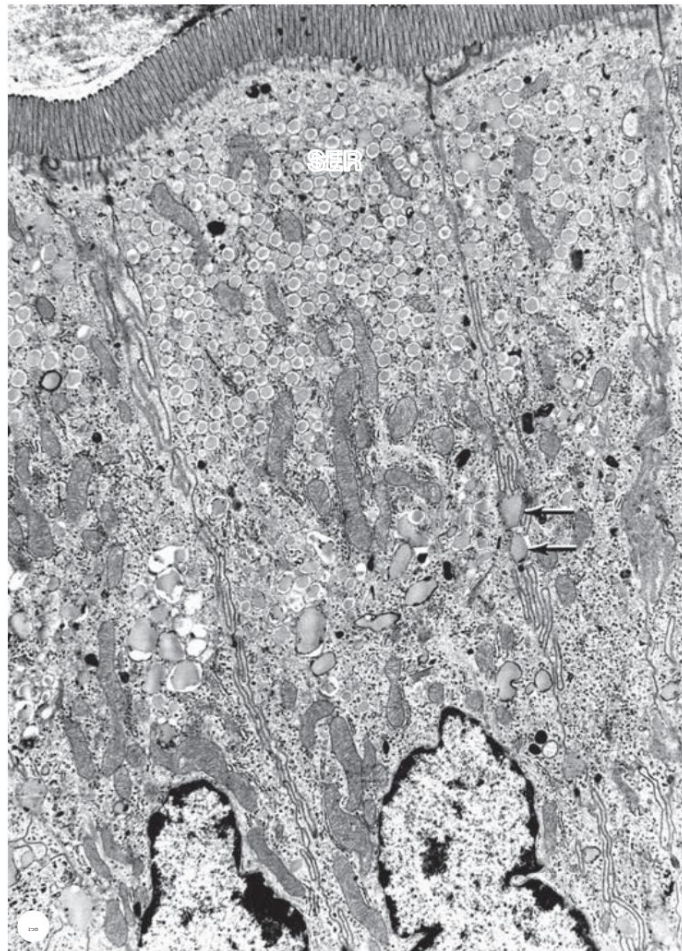
Crohn disease is a chronic inflammatory bowel disease that occurs most commonly in the ileum or colon, resulting from a poorly understood combination of immune, environmental, and genetic factors. Excessive lymphocytic activity and inflammation occur in any or all layers of the tract wall, producing pain, localized bleeding, malabsorption, and diarrhea.

## ➤ LARGE INTESTINE

The large intestine or bowel, which absorbs water and electrolytes and forms indigestible material into feces, has the following regions: the short **cecum**, with the **ileocecal valve** and



図15~25腸管上皮細胞による脂質の吸収と処理。



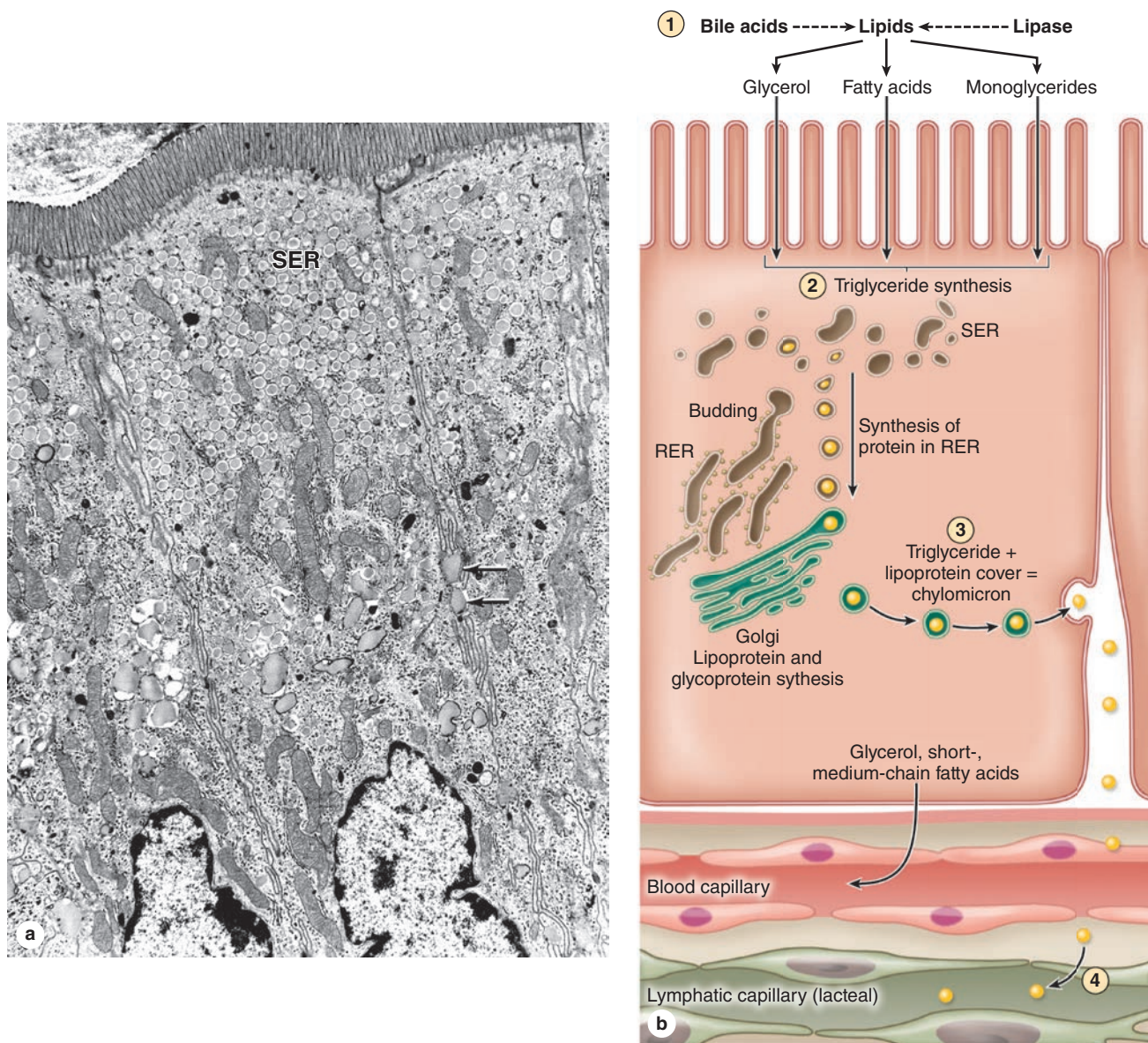
(a) TEM は、脂質吸収に関する腸管上皮細胞が滑面小胞(SER)の小胞内に多数の小さな脂質滴を蓄積していることを示しています。これらの小胞は核の近くで融合し、より大きな球状体を形成します。この球状体は横方向に移動して細胞膜を通過し、細胞外空間(矢印)に移動し、最終的に粘膜固有層のリンパ毛細血管(乳管)によって吸収されます。(X3000)

(図15-25a、ロバート・R・カーデル・ジュニア博士の許可を得て使用、シンシナティ大学医学部、がん細胞生物学科、オハイオ州シンシナティ。)

(b)腸管上皮細胞による脂質処理を示す図。摂取された脂肪は胆汁酸によって乳化され、脂肪滴の懸濁液を形成する。

脂質はリパーゼによって消化され、グリセロール、脂肪酸、モノグリセリドが生成される(1)。加水分解産物は微絨毛膜を受動的に通過し、滑面小胞体の囊に集められ、そこでトリグリセリドとして再合成される(2)。RERとゴルジ体で処理されたこれらのトリグリセリドは、タンパク質の薄い層に囲まれ、タンパク質と複合した脂質のキロミクロン(直径 0.2~1 μm)を含む小胞に詰め込まれる(3)。キロミクロンは細胞側膜に移され、エキソサイトーシスによって分泌され、粘膜固有層の方向に細胞外空間に流れ、そのほとんどは乳糜管を通じてリンパに入る(4)。



**FIGURE 15–25** Lipid absorption and processing by enterocytes.

**(a)** TEM shows that enterocytes involved in lipid absorption accumulate many small lipid droplets in vesicles of the smooth ER (SER). These vesicles fuse near the nucleus, forming larger globules that are moved laterally and cross the cell membrane to the extracellular space (**arrows**) for eventual uptake by lymphatic capillaries (lacteals) in the lamina propria. (X3000)

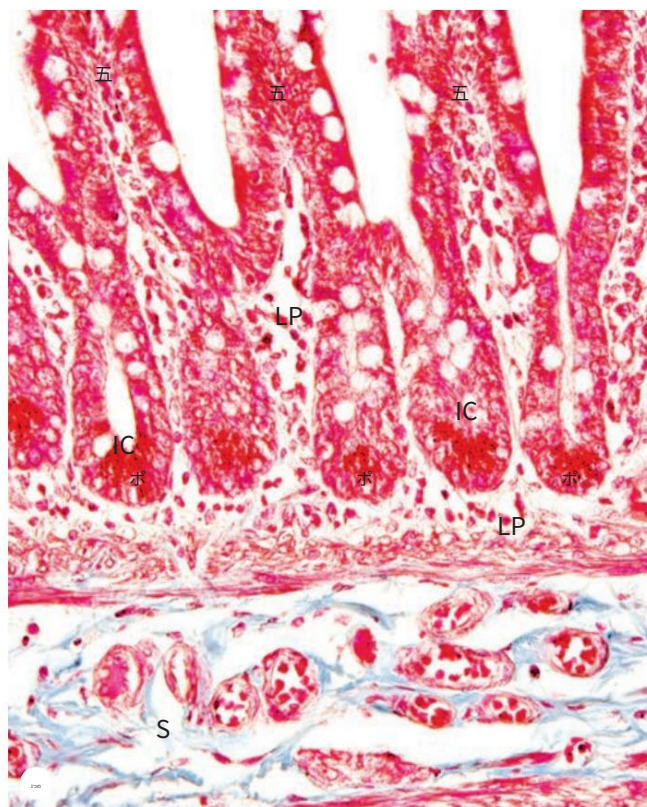
(Figure 15–25a, used with permission from Dr Robert R. Cardell, Jr, Department of Cancer and Cell Biology, University of Cincinnati College of Medicine, Cincinnati, OH.)

**(b)** Diagram showing lipid processing by enterocytes. Ingested fats are emulsified by **bile acids** to form a suspension of lipid droplets

from which lipids are digested by **lipases** to produce glycerol, fatty acids, and monoglycerides (**1**). The products of hydrolysis diffuse passively across the microvilli membranes and are collected in the cisternae of the smooth ER, where they are resynthesized as **triglycerides** (**2**). Processed through the RER and Golgi, these triglycerides are surrounded by a thin layer of proteins and packaged in vesicles containing **chylomicrons** (0.2–1  $\mu\text{m}$  in diameter) of lipid complexed with protein (**3**). Chylomicrons are transferred to the lateral cell membrane, secreted by exocytosis, and flow into the extracellular space in the direction of the lamina propria, where most enter the lymph in **lacteals** (**4**).

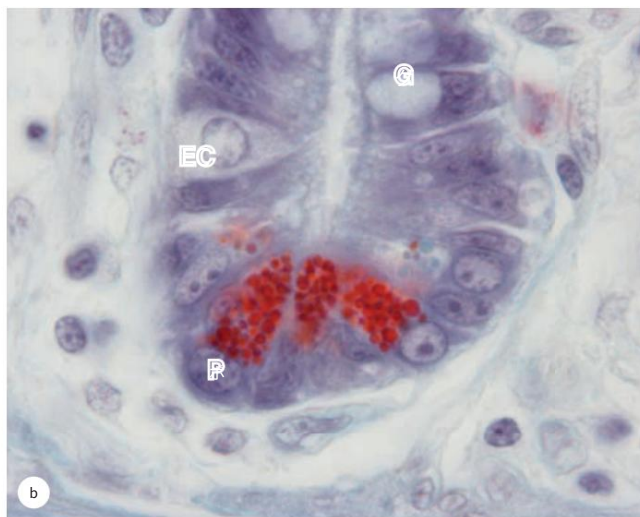


図15~26パネート細胞を含む腸陰窩または腺。



(a)小腸全体の絨毛(V)の間では、被覆上皮が粘膜固有層(LP)に陥入して、腸腺または腸陰窩(IC)と呼ばれる短い管状腺を形成します。

陰窩の開閉口付近の内層には、小腸の上皮内層全体の幹細胞集団が含まれています。娘細胞はゆっくりと成長上皮とともに陰窩から移動し、杯細胞、腸上皮細胞、腸内分泌細胞に分化する。これらの細胞は絨毛を上って移動し続け、1週間以内に先端から剥がれ落ちる。



小腸は毎日、腸管から分泌物を排出します。陰窩の底には、先天性免疫機能を持つパネート細胞(P)が多数存在します。粘膜下層(S)には、乳管を排出するリンパ管が多数存在します。(X200; H&E)

(b)腸腺の基部の高倍率画像では、パネート細胞(P)の典型的な好酸性顆粒、開放型腸内分泌細胞(EC)、分化杯細胞(G)が示されています。(X400; H&E)

大腸は、虫垂、上行結腸、横行結腸、下行結腸、S状結腸、および排泄前に便を蓄える直腸から構成されます(図15-31)。粘膜には絨毛がなく、直腸を除いて大きなひだはありません。大腸は小腸の3分の1未満の長さで、直径は小腸よりも大きいです(6~7cm)。結腸の壁は、**ハウストラ**(ラテン語:単数形はhastrum、バケツ、スコップ)と呼ばれる一連の大きな袋状に縮んでいます。

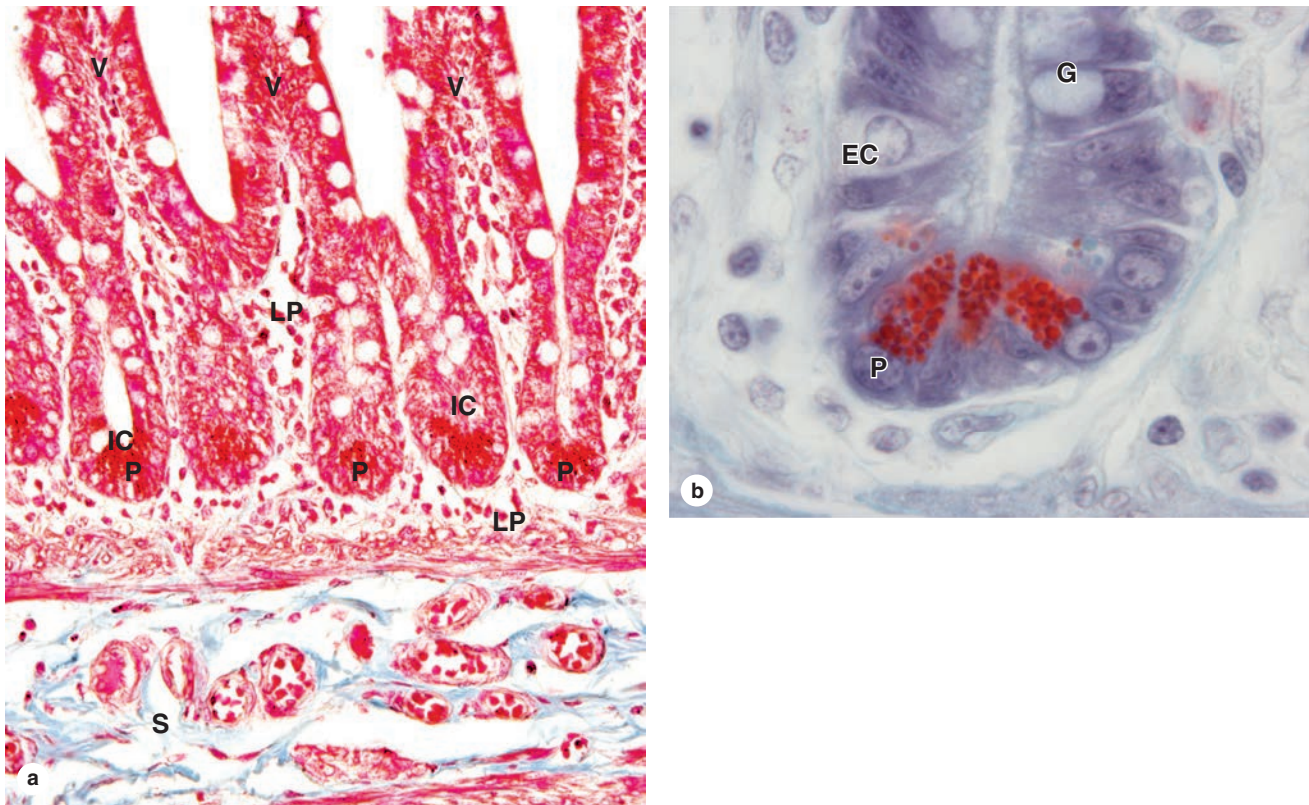
大腸の粘膜は、その全長にわたって管状の**腸腺によって貫かれています**。腸管腔は杯細胞と吸収細胞で覆われており、少数の腸内分泌細胞も存在します(図15-32および15-33)。円柱状の吸収細胞または**結腸細胞は**、不規則な微絨毛と拡張した細胞間空間を持ち、活発な液体吸収を示しています(図15-33d)。潤滑粘液を産生する杯細胞は、腸管の全長にわたって増加しています。

結腸と直腸にあります。上皮幹細胞は各腺の下部3分の1に位置しています。

粘膜固有層にはリンパ球やリンパ結節が豊富に存在し、これらは粘膜下層まで広がることが多い(図15-32)。MALTが豊富であることは、大腸の細菌数が多いことに関係している。虫垂には吸収機能はほとんどないが、MALTの重要な構成要素である(第14章を参照)。

結腸筋層には縦層と環状層がありますが、小腸の筋層とは異なり、外層の繊維は3つの別々の縦帯に集まっており、**テニア・コリ**(L、結腸のリボン)と呼ばれます(図15-32a)。

結腸の腹腔内部分は漿膜で覆われており、漿膜は脂肪組織の小さな垂れ下がった突起が特徴です。

**FIGURE 15–26** Intestinal crypts or glands, with Paneth cells.

**(a)** Between villi (**V**) throughout the small intestine, the covering epithelium invaginates into the lamina propria (**LP**) to form short tubular glands called intestinal glands or intestinal crypts (**IC**). The lining near the openings of the crypts contains a population of stem cells for the entire epithelial lining of the small intestine. Daughter cells slowly move with the growing epithelium out of the crypts, differentiating as **goblet cells**, **enterocytes**, and **enteroendocrine cells**. These cells continue to move up each villus and within a week are shed at the tip, with billions shed throughout the

small intestine each day. At the base of the crypts are many Paneth cells (**P**) with an innate immune function. The submucosa (**S**) has many lymphatics draining lacteals. (X200; H&E)

**(b)** Higher magnification at the base of an intestinal gland shows the typical eosinophilic granules of Paneth cells (**P**), along with an open-type enteroendocrine cell (**EC**) and a differentiating goblet cell (**G**). (X400; H&E)

the **appendix**; the ascending, transverse, descending, and sigmoid **colon**; and the **rectum**, where feces are stored prior to evacuation (Figure 15–31). The mucosa lacks villi and except in the rectum has no major folds. Less than one-third as long as the small intestine, the large intestine has a greater diameter (6–7 cm). The wall of the colon is puckered into a series of large sacs called **haustra** (L. sing. *haustum*, bucket, scoop).

The mucosa of the large bowel is penetrated throughout its length by tubular **intestinal glands**. These and the intestinal lumen are lined by goblet and absorptive cells, with a small number of enteroendocrine cells (Figures 15–32 and 15–33). The columnar absorptive cells or **colonocytes** have irregular microvilli and dilated intercellular spaces indicating active fluid absorption (Figure 15–33d). Goblet cells producing lubricating mucus become more numerous along the length of

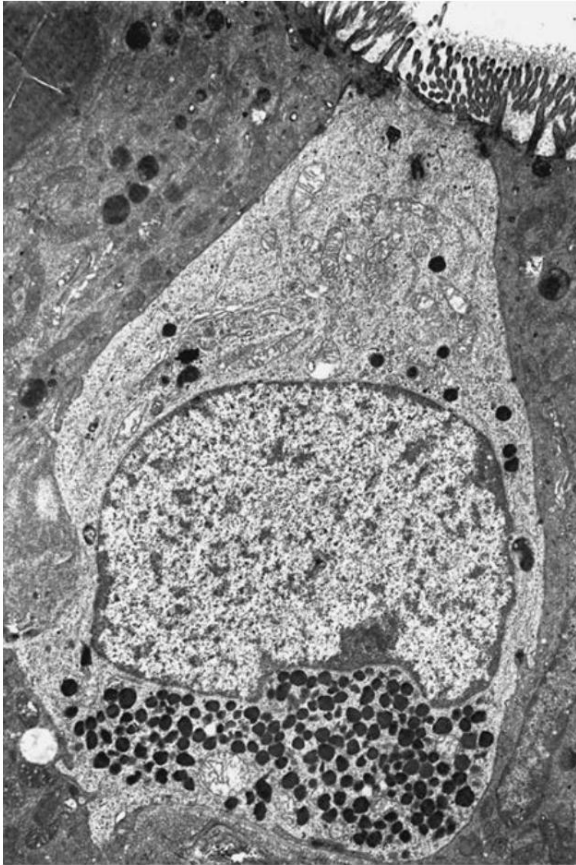
the colon and in the rectum. Epithelial stem cells are located in the bottom third of each gland.

The lamina propria is rich in lymphoid cells and in lymphoid nodules that frequently extend into the submucosa (Figure 15–32). The richness in MALT is related to the large bacterial population of the large intestine. The appendix has little or no absorptive function but is a significant component of MALT (see Chapter 14).

The muscularis of the colon has longitudinal and circular layers but differs from that of the small intestine, with fibers of the outer layer gathered in three separate longitudinal bands called **teniae coli** (L., ribbons of the colon) (Figure 15–32a). Intraperitoneal portions of the colon are covered by serosa, which is characterized by small, pendulous protuberances of adipose tissue.



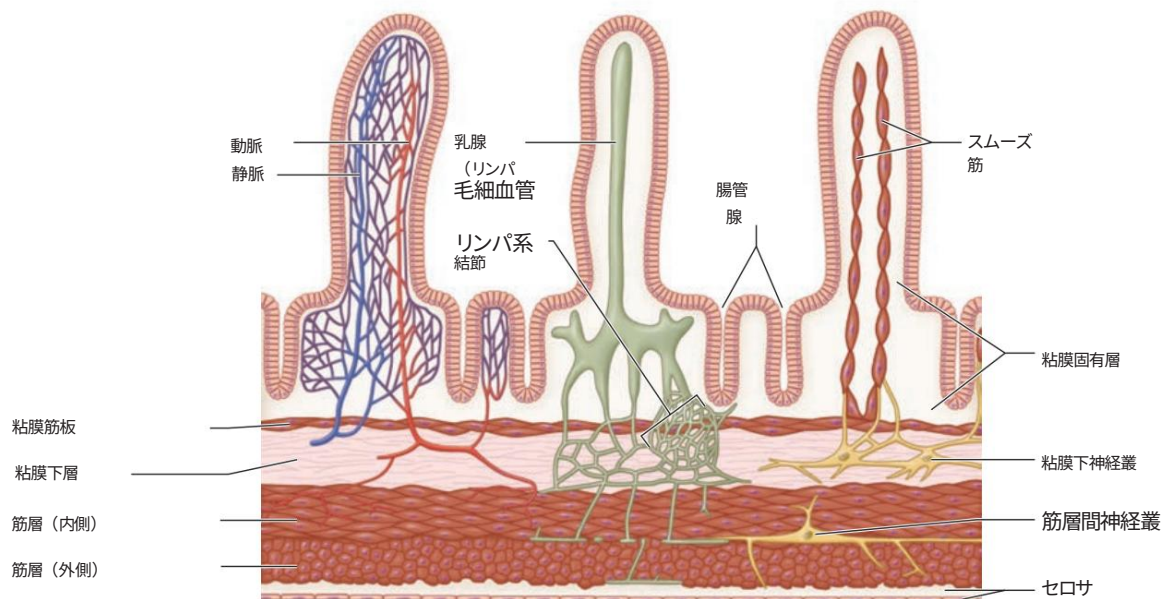
図15-27腸内分泌細胞。



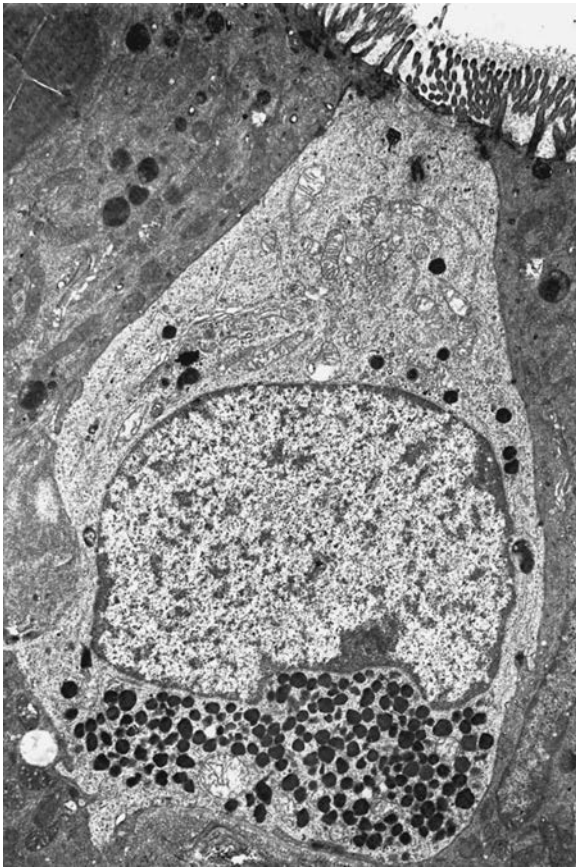
十二指腸上皮の開放型腸内分泌細胞の TEM では、その先端に内腔と接触している微絨毛が見られる。微絨毛には、味蕾の味覚細胞といくつかの点で類似した栄養感知およびシグナル伝達システムの構成要素がある。栄養素によるこれらの細胞の活性化は、満腹ペプチドを含むペプチド因子の基底外側膜からの放出を誘発し、これが細胞外液を介して毛細血管に入る (内分泌) か、近くの神経終末、平滑筋、または他の細胞上の受容体に結合する (傍分泌)。さまざまな腸内分泌細胞からのホルモンは、協調して作用し、腸の運動を制御し、消化酵素、HCl、胆汁、および他の消化成分の分泌を調節し、脳に満腹感をもたらす。(X4500)

(AGE Pearce, 組織化学部門の許可を得て使用)  
英国ロンドンの王立大学院医学部。

図15-28絨毛内の微小血管、リンパ管、筋肉。

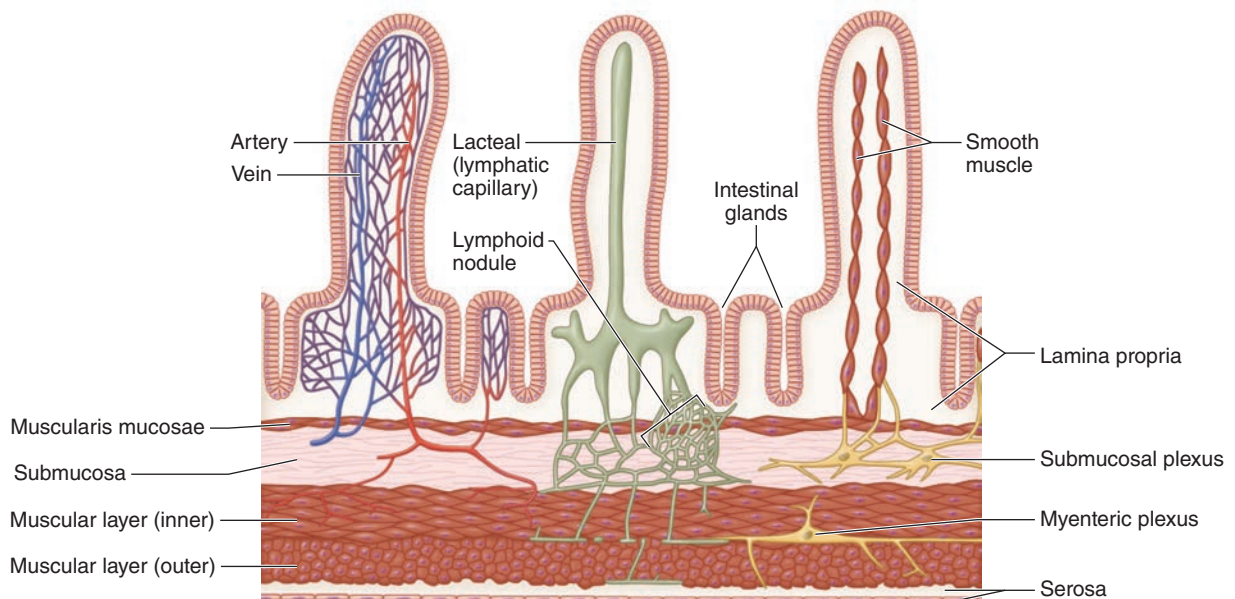


小腸の絨毛には、血液の微小血管 (左)、乳管と呼ばれるリンパ毛細血管 (中央)、神経支配線維と平滑筋線維 (右)が含まれています。

**FIGURE 15-27 Enteroendocrine cell.**

TEM of an open-type enteroendocrine cell in the epithelium of the duodenum shows microvilli at its apical end in contact with the lumen. The microvilli have components of nutrient-sensing and signal transduction systems similar in some components to those of taste bud gustatory cells. Activation of these cells by nutrients triggers the release at the basolateral membranes of peptide factors, including satiety peptides, which diffuse through extracellular fluid to enter capillaries (endocrine) or to bind receptors on nearby nerve terminals, smooth muscle fibers, or other cells (paracrine). Hormones from the various enteroendocrine cells act in a coordinated manner to control gut motility; regulate secretion of enzymes, HCl, bile, and other components for digestion; and produce the sense of satiety in the brain. (X4500)

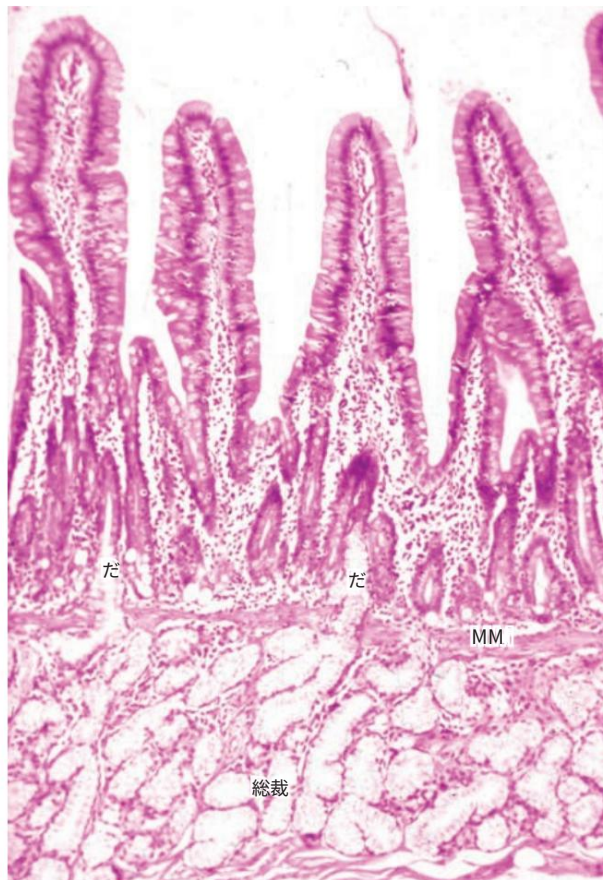
(Used with permission from A.G.E. Pearse, Department of Histochemistry, Royal Postgraduate Medical School, London, UK.)

**FIGURE 15-28 Microvasculature, lymphatics, and muscle in villi.**

The villi of the small intestine contain blood microvasculature (left), lymphatic capillaries called lacteals (center), and both innervation and smooth muscle fibers (right).



図15-29十二指腸（ブルナー）腺。



十二指腸上部には、複合管状粘液腺の大きな塊である十二指腸腺(DG)が集中しており、多数の小葉が粘膜下層の大部分を占め、粘膜筋板(MM)を超えて粘膜内にまで広がることもあります。

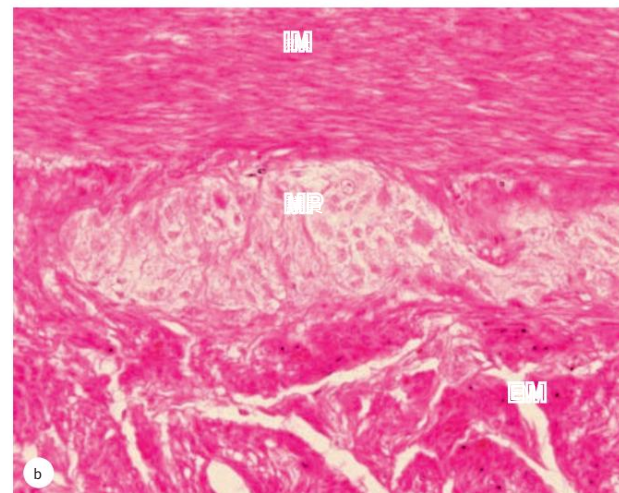
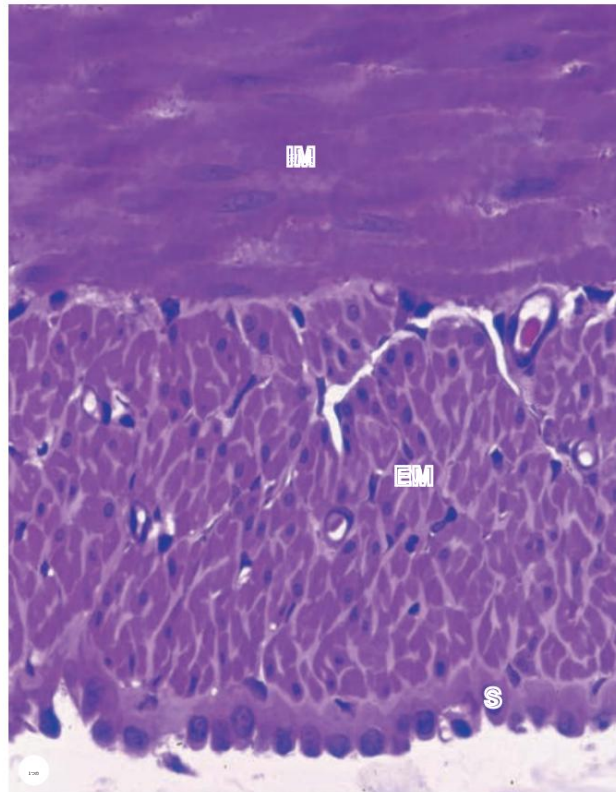
多くの小さな排泄管(D)がこれらの小葉から粘膜固有層を通り、小腸陰窩の間の腔に流れ込みます。十二指腸腺からのアルカリ性粘液は十二指腸に入る物質のpHを中和し、杯細胞からの粘液を補って小腸の内壁を潤滑し保護します。(X100; H&E)

#### 医療用途

大腸がんは、粘膜上皮の良性腺腫性ポリープから発生する腺がんである。このようなポリープは通常、直腸、S状結腸、または遠位下行結腸の上皮に発生し、低炭水化物食を摂取する人に多く見られる。低炭水化物食は便の量を減らし、その結果、粘膜が便中の毒素と接触する時間が長くなる。大腸がんの検査には、S状結腸鏡検査または大腸内視鏡検査がある。

腺癌が粘膜のより深いところまで浸潤するにつれて粘膜出血によって生じるポリープを観察し、便潜血検査を行います。

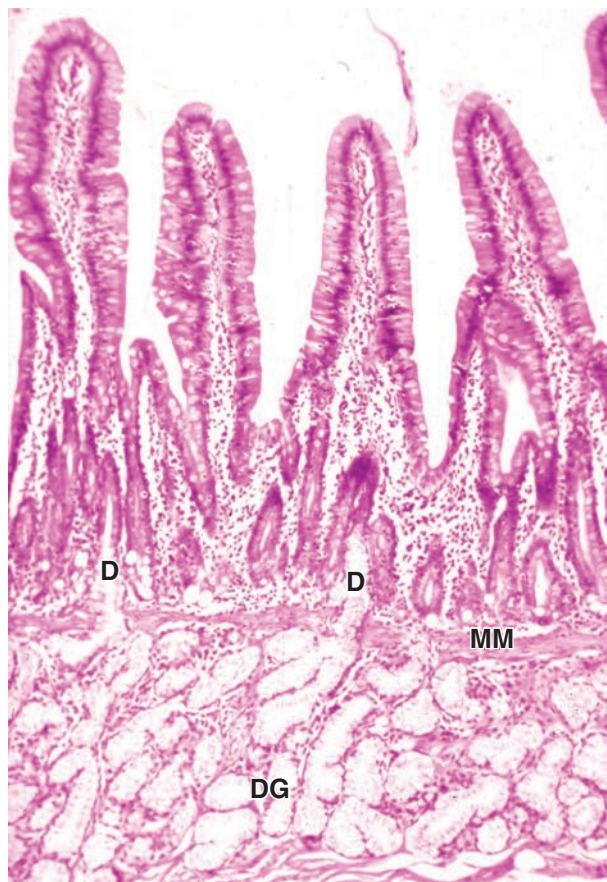
図15~30小腸筋層と筋層間神経叢。



(a)小腸壁の横断面は、内部(IM)および外部(EM)平滑筋層の方向を示しています。内層は主に円形で、外層は縦方向です。漿膜(S)は薄い結合組織で、立方体または扁平上皮細胞の中皮で覆われています。(X200; PT)

(b)筋層の内層と外層の間(IMおよびEM)は、淡く染色されたニューロンと筋層間神経叢(MP)の他の細胞の神経節です。(X100; H&E)

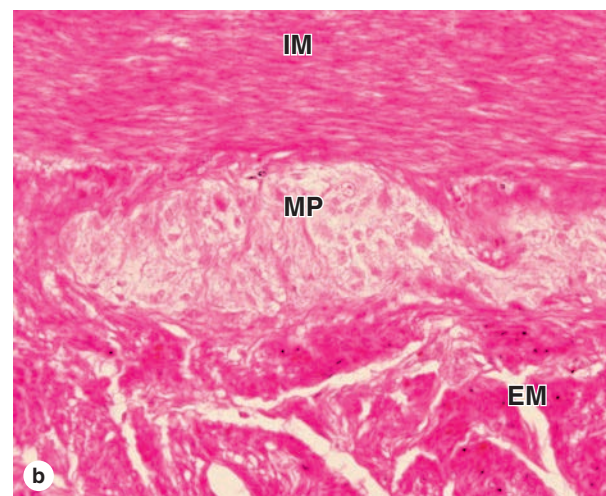
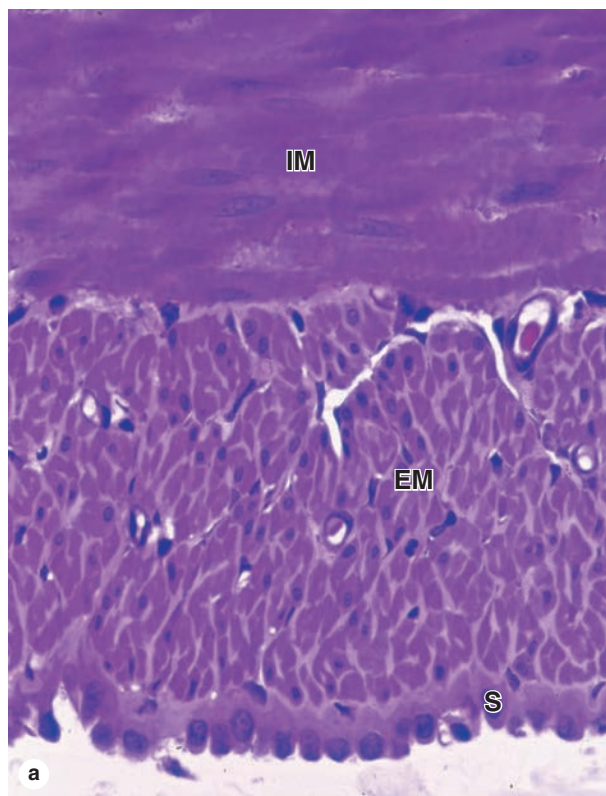


**FIGURE 15–29 Duodenal (Brunner) glands.**

Concentrated in the upper duodenum are large masses of compound tubular **mucous glands**, the duodenal glands (**DG**), with many lobules that occupy much of the submucosa and may extend above the muscularis mucosae (**MM**) into the mucosa. Many small excretory ducts (**D**) extend from these lobules through the lamina propria and empty into the lumen among the small intestinal crypts. Alkaline mucus from duodenal glands neutralizes the pH of material entering the duodenum and supplements the mucus from goblet cells in lubricating and protecting the lining of the small intestine. (X100; H&E)

### ►► MEDICAL APPLICATION

**Colorectal cancer** is an **adenocarcinoma** that develops initially from benign **adenomatous polyps** in the mucosal epithelium. Such polyps usually occur in epithelium of the rectum, sigmoid colon, or distal descending colon and are more common in individuals with low-fiber diets, which reduce the bulk of fecal material, and this in turn prolongs contact of the mucosa with toxins in feces. Screens for colorectal cancer include **sigmoidoscopy** or **colonoscopy** to see polyps and tests for **fecal occult blood** resulting from mucosal bleeding as an adenocarcinoma invades more deeply into the mucosa.

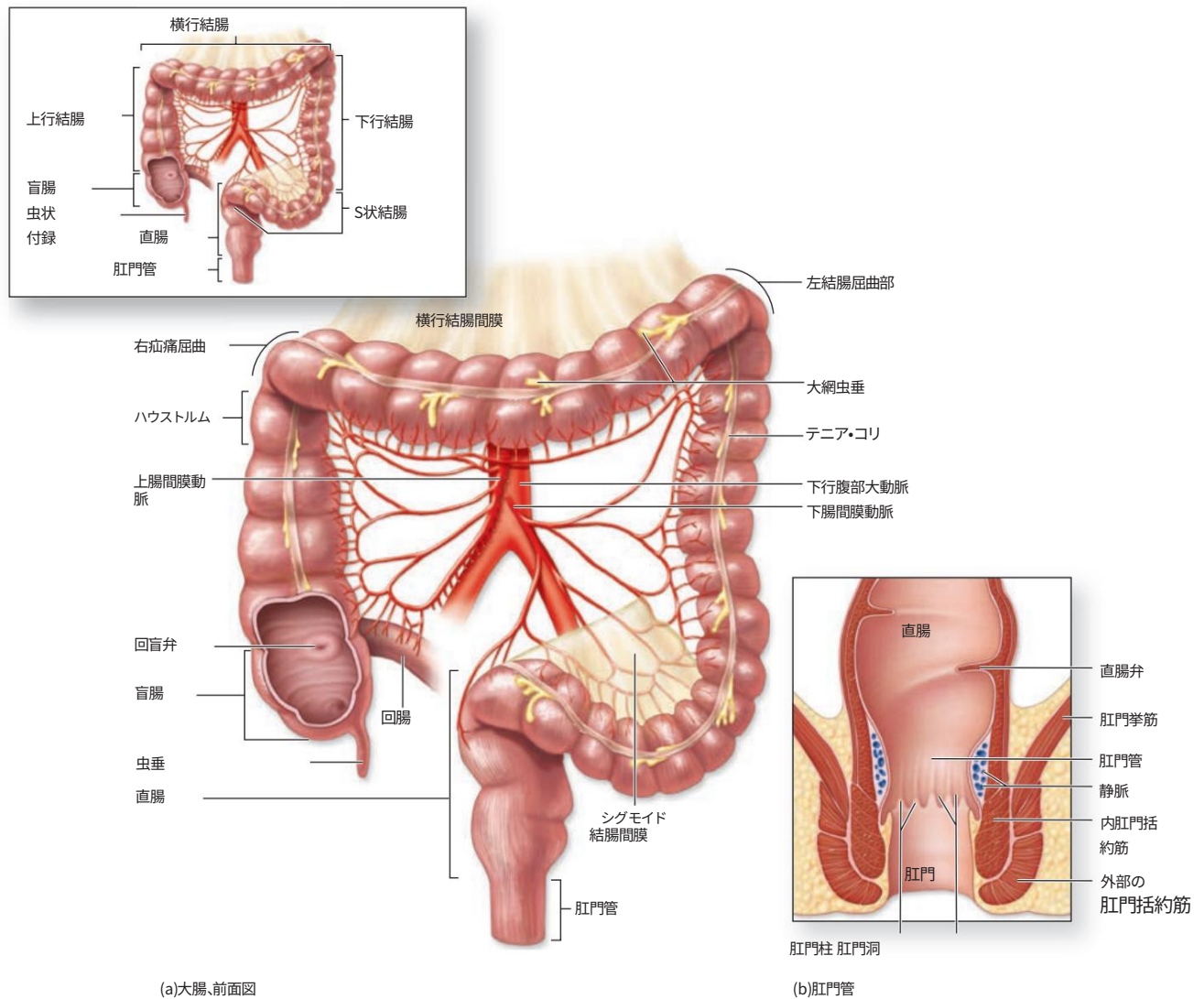
**FIGURE 15–30 Small intestine muscularis and myenteric plexus.**

(a) Transverse sections of the small intestinal wall show the orientation of the internal (**IM**) and external (**EM**) smooth muscle layers. The inner layer is predominantly circular, while the outer layer is longitudinal. The serosa (**S**) is a thin connective tissue covered here by a mesothelium of cuboidal or squamous cells. (X200; PT)

(b) Between the internal and external layers of muscularis (**IM** and **EM**) are ganglia of pale-staining neurons and other cells of the myenteric plexus (**MP**). (X100; H&E)



図15-31大腸。



上図に示すように、大腸は盲腸、結腸の上行結腸、横行結腸、下行結腸、S 状結腸、および直腸で構成されています。(a)大腸の近位端を露出させた前面図には、回腸に付着している回盲弁、盲腸と呼ば

れる袋、およびその延長である虫垂が示されています。

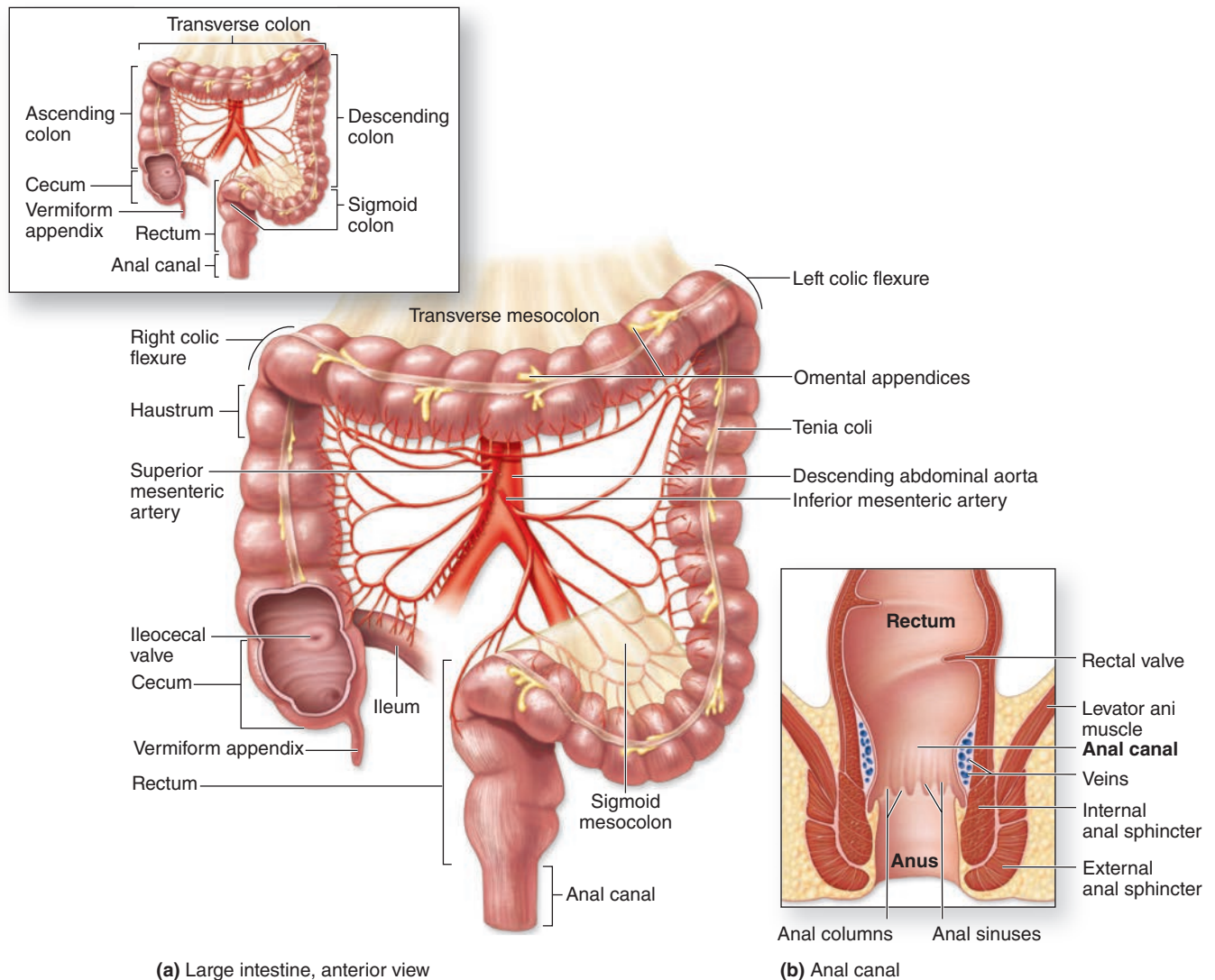
粘膜には浅い皺襞のみがあり、絨毛はない。筋層は2層であるが、外側の縦層は結腸壁のハウスラを形成する結腸腱と呼ばれる3つの明確な筋束のみからなる。結腸漿膜は連続している。

支持腸間膜のそれと相まって、網付属器と呼ばれる一連の脂肪組織の懸垂塊が見られます。

(b)直腸の遠位端では、肛門管、粘膜、粘膜下層は血管が豊富で静脈洞があり、肛門柱と呼ばれる一連の縦方向のひだとして折り畳まれています。

肛門括約筋は、肛門洞を介して直腸に通る肛門括約筋（モルガーニの肛門括約筋）の働きによって直腸内に蓄積します。直腸内に蓄積した糞便は、筋層の輪状層に続く内肛門括約筋と、横紋筋（随意筋）の外肛門括約筋の働きによって、筋肉の収縮によって排泄されます。

FIGURE 15-31 Large intestine.



As shown at the top, the large intestine consists of the cecum; the ascending, transverse, descending, and sigmoid regions of the colon; and the rectum.

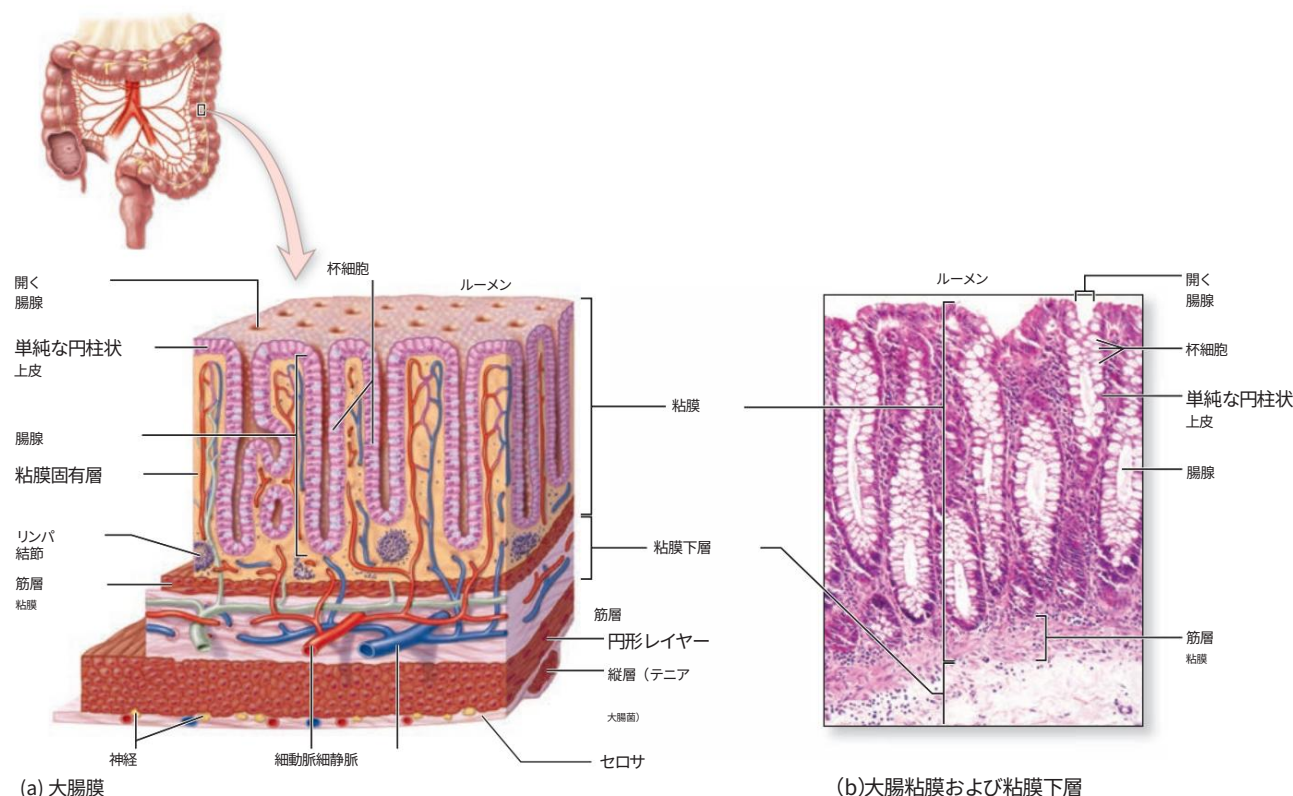
(a) Anterior view of the large intestine with the proximal end exposed shows the **ileocecal valve** at its attachment to the ileum, along with the sac called the **cecum** and its extension, the **appendix**. The mucosa has only shallow plicae and no villi. The muscularis has two layers, but the outer longitudinal layer consists only of three distinct bundles of muscle fibers called **teniae coli** that produce the haustra in the colon wall. The serosa of the colon is continuous

with that of the supporting mesenteries and displays a series of suspended masses of adipose tissue called **omental appendages**.

(b) At the distal end of the rectum, the anal canal, the mucosa, and submucosa are highly vascularized, with venous sinuses, and are folded as a series of longitudinal folds called **anal columns** (of Morgagni) with intervening **anal sinuses**. Fecal material accumulates in the rectum is eliminated by muscular contraction, including action of an **internal anal sphincter** continuous with the circular layer of the muscularis and an **external sphincter** of striated (voluntary) muscle.



## 図15-32大腸の壁。



(a)図は、4つの典型的な層で構成された大腸の壁を示しています。粘膜下層には血管が豊富にあります。腸管筋には典型的な内側の円形層がありますが、外側の縦走筋は、等間隔に配置された3つの帯状の大腸腱膜のみに存在します。

(b)粘膜は主に管状の腸腺で占められている。粘膜筋板の深さまで広がり、MALTを豊富に含む粘膜前縁板によって囲まれている。(X80; H&E)

## 医療用途

肛門の粘膜または粘膜下層の血管の腫れ

腸管の閉塞は、痔と呼ばれる痛みを伴う疾患を引き起こすことがあります。この一般的な症状は、低炭水化物の食事、便秘、長時間の座位、排便時のいきみなど、これらの血管にかかる圧力が増大する状況によって生じます。

消化管の末端は**肛門管**で、長さは3~4cmです。**直腸肛門接合部**では、直腸の単純な円柱状の粘膜の内層が重層扁平上皮に置き換わっています(図15-34)。肛門管の粘膜と粘膜下層はいくつかの縦方向のひだを形成し、**肛門柱**は

(図15-31b)では粘膜固有層と粘膜下層に直腸静脈叢の洞が含まれる。肛門の近くでは直腸筋層の円形層が**内部**

**肛門括約筋**。排便には**外肛門括約筋**を構成する随意筋の作用が関与する(図15-31b)。

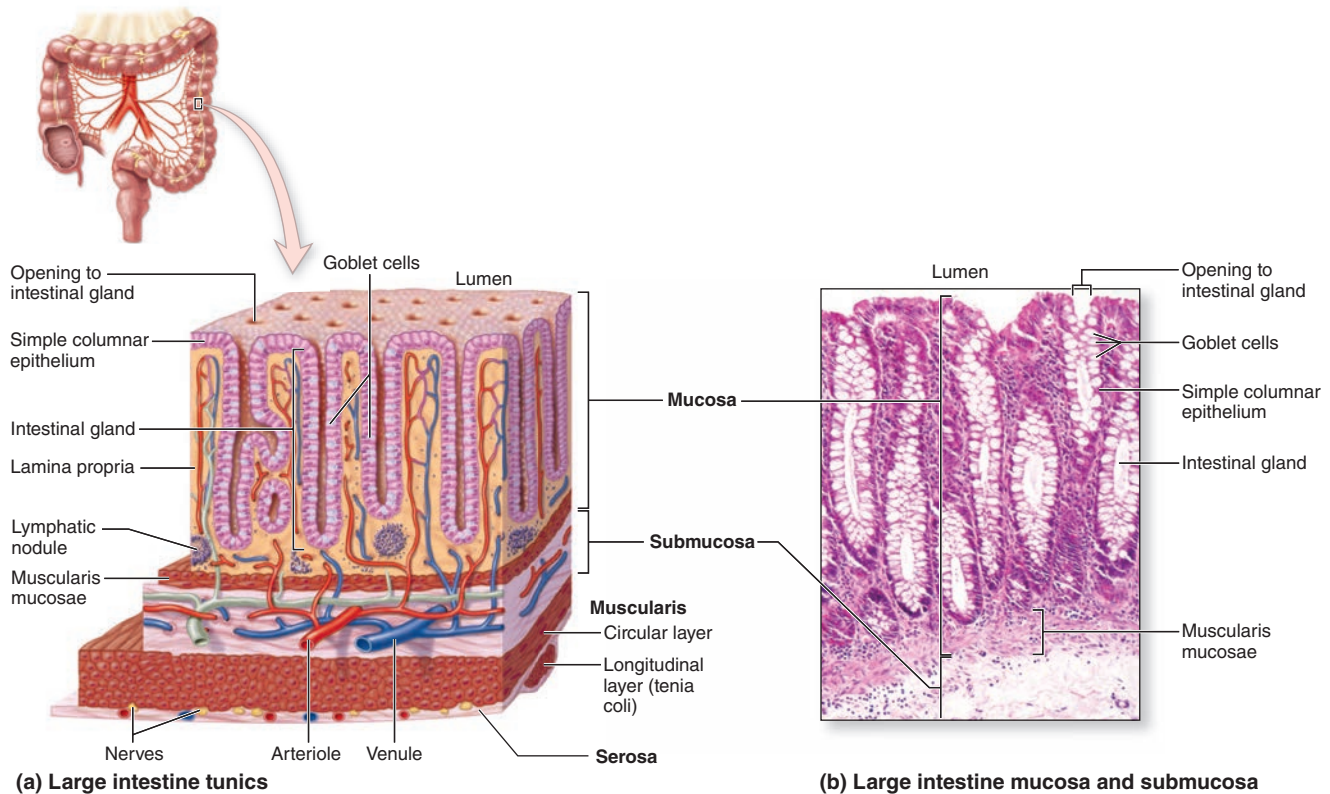
表15-2は消化管の各領域を区別する組織学的特徴をまとめたものである。

## 医療用途

大腸の粘膜と粘膜下層のヘルニアまたは突出が大腸腱の間で発生し、膨らみ(憩室)を形成し、憩室症と呼ばれる状態になることがあります。

秩序は結腸壁の構造的欠陥または高い内腔圧や便秘により、糞便が憩室内で固定され、局所的な炎症または憩室炎。

FIGURE 15–32 Wall of the large intestine.



(a) Diagram shows the wall of the large intestine composed of the four typical layers. The **submucosa** is well vascularized. The **muscularis** has a typical inner circular layer, but the outer longitudinal muscle is only present in three equally spaced bands, the **teniae coli**.

(b) The **mucosa** is occupied mostly by tubular **intestinal glands** extending as deep as the muscularis mucosae and by lamina propria rich in MALT. (X80; H&E)

### » MEDICAL APPLICATION

Swollen blood vessels in the mucosa or submucosa of the anal canal can cause a painful disorder called **hemorrhoids**. This common condition typically results from a low-fiber diet, **constipation**, prolonged sitting, or straining at defecation, conditions that produce increased pressure on these blood vessels.

The distal end of the GI tract is the **anal canal**, 3–4 cm long. At the **rectoanal junction** the simple columnar mucosal lining of the rectum is replaced by stratified squamous epithelium (Figure 15–34). The mucosa and submucosa of the anal canal form several longitudinal folds, the **anal columns** (Figure 15–31b), in which the lamina propria and submucosa include sinuses of the rectal venous plexus. Near the anus the circular layer of the rectum's muscularis forms the **internal**

**anal sphincter**. Defecation involves the action of voluntary muscle comprising the **external anal sphincter** (Figure 15–31b).

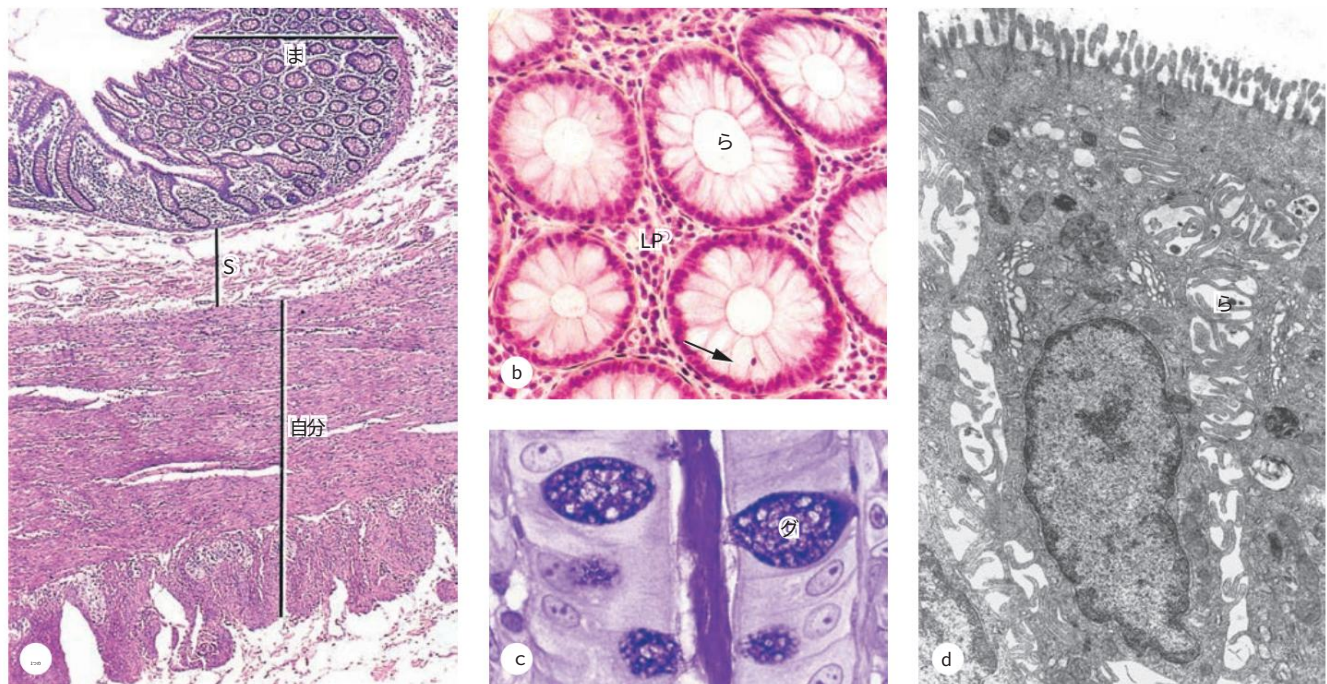
Table 15–2 summarizes the histologic features distinguishing each region of the digestive tract.

### » MEDICAL APPLICATION

Herniation or outpocketing of the mucosa and submucosa of the colon can occur between the teniae coli, forming bulges (diverticula) and a condition called **diverticulosis**. This disorder can result from structural defects in the colon wall or from high intraluminal pressure or **constipation**. Fecal material can become immobilized in the diverticula and cause localized inflammation or **diverticulitis**.



図15-33結腸粘膜。



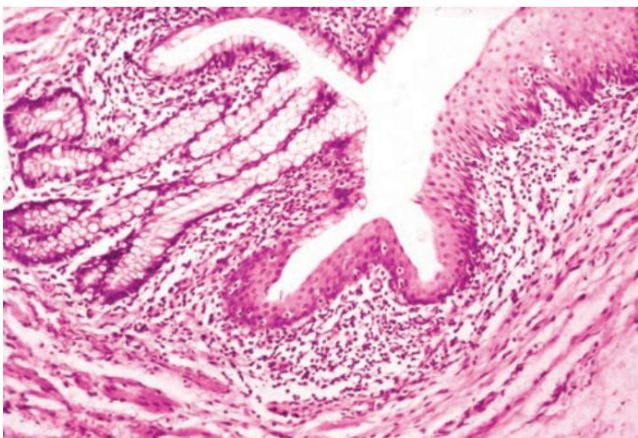
(a)結腸の横断面には、図の下部で横断方向に切断された結腸腱を含む外筋層(ME)、粘膜下層(S)、管状の腸腺で満たされた粘膜(M)が示されています。これらの腺の一部は縦方向に切断されていますが、ここで見られる大部分は横断方向に切断されています。(X14; H&E)

(b)横方向に切断した腺は、管状の内腔(L)に囲まれた単純な円柱上皮で構成され、多くの遊離リンパ球とともに粘膜固有層(LP)に埋め込まれていることがわかります。リンパ球が上皮を貫通しているのも確認できます(矢印)。(X200; H&E)

(c)糖タンパク質を染色した腸腺の縦断面では、内腔内の粘液と上皮内の2つの主要な細胞タイプ、すなわち杯細胞(G)と、水分吸収に特化した隣接する円柱細胞が示されています。(X400; PAS)

(d)吸収細胞、すなわち結腸細胞のTEM像では、先端に短い微絨毛があり、細胞間隙が拡張していることが分かります。細胞膜の葉が噛み合っていること(L)は、活発な水輸送の兆候です。水の吸収は受動的で、上皮細胞の基底外側表面からのナトリウムの能動輸送に続いて行われます。(X2500)

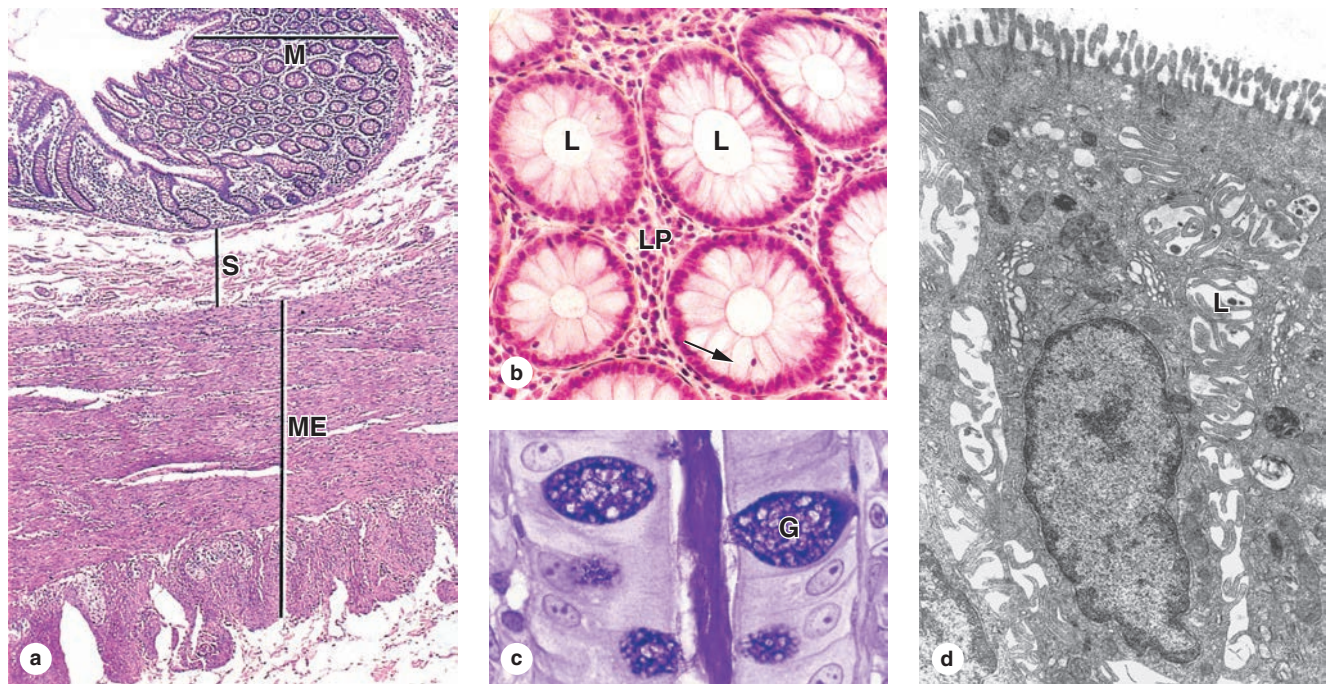
図15-34直腸肛門移行部の粘膜。



この縦断面で見られるように、直腸の管状腸腺を伴う単純な円柱上皮(写真の左側)は、肛門管(写真の右側)で重層扁平上皮に突然変化します。粘膜固有層の結合組織には、多くの遊離リンパ球が含まれているのが見られます。(X40; H&E)



FIGURE 15-33 Colon mucosa.



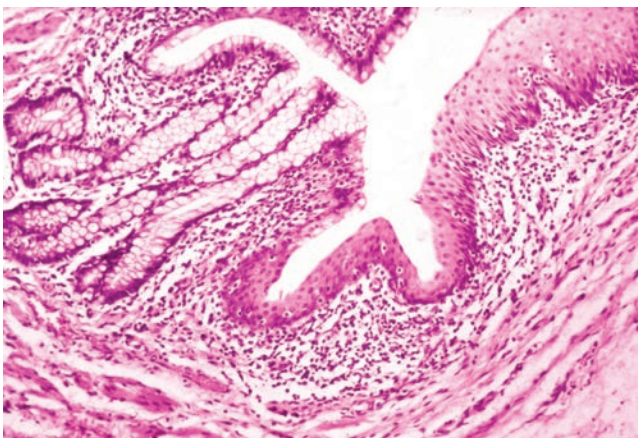
(a) Transverse section of the colon shows the muscularis externa (ME), including a **tenia coli** cut transversely in the lower part of the figure, the submucosa (S), the mucosa (M) filled with **tubular intestinal glands**. Some of these glands are cut longitudinally, but most seen here are cut transversely. (X14; H&E)

(b) Transversely cut glands are seen to consist of simple columnar epithelium surrounded by a tubular lumen (L) and embedded in lamina propria (LP) with many free lymphocytes. Lymphocytes can also be seen penetrating the epithelium (arrow). (X200; H&E)

(c) Longitudinal section of one intestinal gland stained for glycoproteins shows **mucus** in the lumen and two major cell types in the epithelium: goblet cells (G) and the neighboring columnar cells specialized for water absorption. (X400; PAS)

(d) TEM of the absorptive cells, or **colonocytes**, reveals short **microvilli** at their apical ends and dilated **intercellular spaces** with interdigitating leaflets of cell membrane (L), a sign of active water transport. The absorption of water is passive, following the active transport of sodium from the basolateral surfaces of the epithelial cells. (X2500)

FIGURE 15-34 Mucosa of the rectoanal junction.



The simple columnar epithelium with tubular **intestinal glands** in the rectum (left side of photo) changes abruptly to stratified squamous epithelium in the **anal canal** (right side of photo), as seen in this longitudinal section. The connective tissue of the lamina propria is seen to contain many free lymphocytes. (X40; H&E)



表15-2		消化管の特徴を領域と層別にまとめた概要。		
地域と 区分	粘膜（上皮、 粘膜固有層、 粘膜筋板	粘膜下層（ 粘膜下神経叢	筋層（内輪筋と 外側縦層、 筋層間神経叢 彼らの間に	外膜/漿膜
食道（上部、中部、下部）	非角質化重層扁平上皮；下端に心臓腺	食道の小さな腺（主に粘液腺）	両層の横紋筋 上層部では両層の平滑筋、下層部では平滑筋と横紋筋  中間領域に束が混ざっている	漿膜のある下端を除く外膜
胃（噴門、胃底、胃体部、幽門）	表面粘液細胞と胃小窩は、胃壁細胞と主細胞（胃底部と胃体部）を持つ胃腺、または粘液性心臓腺につながる。  および幽門腺	際立った特徴はない	3つの不明瞭な平滑筋層（内側斜筋、中間円筋、外側縦筋）	セロサ
小腸（十二指腸、空腸、回腸）	環状襞；絨毛、腸管上皮細胞、杯細胞、陰窩/  パネート細胞を持つ腺および幹細胞；回腸のパイエル板	十二指腸（ブルンナー）腺（完全に粘液性）；  回腸のパイエル板	際立った特徴はない	主に漿膜
大腸（盲腸、結腸、直腸）	杯細胞と吸収細胞を持つ腸腺	際立った特徴はない	外側の縦層は3つの帯に分かれており、結腸鍵は	主に漿膜で、直腸には外膜がある
肛門管	重層扁平上皮；肛門縦柱	静脈洞	内括約筋として内側の円形層が厚くなる	外膜

消化管要点のまとめ

- 口腔

  - 口腔は主に非角質化重層扁平上皮からなる粘膜で覆われており、硬口蓋と歯肉には角質化重層扁平上皮が存在します。
  - 舌の背側表面粘膜には、角質化上皮を持つ鈎状乳頭と、非角質化の葉状乳頭、茸状乳頭、および大きな有郭乳頭の4種類の突出した舌乳頭があります。
  - 舌乳頭（リフォーム型を除く）には、側面上皮味蕾があり、基礎感覚神経支配とシナプスを形成する化学感覚味覚細胞、支持細胞、および頂端味孔があります。
  - それぞれの歯には、歯冠と歯頸部を覆うエナメル質と、歯根を形成し歯頸部まで伸びる象牙質内の血管と神経が分布する中央の歯髓腔があります。
  - エナメル質は、胎児の歯芽のエナメル器官にあるエナメル芽細胞と呼ばれる円柱上皮細胞から分泌されるアメロゲンというタンパク質によって誘導されるプロセスで、平行なエナメル桿体として石灰化します。
- 象牙質は、背の高い象牙芽細胞から細長い象牙質細管として分泌されます。象牙質細管は歯髓腔の内側を覆い、完全に形成された歯の中に残り、細管の間には根尖象牙芽細胞突起が伸びています。
  - 各歯の歯周組織は、歯根の象牙質を囲む骨のようなセメント質の薄い層と、セメント質を顎のソケットの歯槽骨に結合する歯周靱帯で構成されています。
- 消化管の層

  - 食道から直腸まで、消化管は、内層粘膜、粘膜下層、筋層、そして最も外側の外膜または中皮で覆われた漿膜の4つの主要な層で構成されています。
  - 粘膜は管に沿って地域によって異なるが、常に粘膜筋板から伸びる疎性結合組織と平滑筋繊維からなる粘膜固有層上の上皮から構成される。

層。

**TABLE 15-2** Summary of distinguishing digestive tract features, by region and layers.

Region and Subdivisions	Mucosa (Epithelium, Lamina Propria, Muscularis Mucosae)	Submucosa (With Submucosal Plexuses)	Muscularis (Inner Circular and Outer Longitudinal Layers, With Myenteric Plexuses Between Them)	Adventitia/Serosa
Esophagus (upper, middle, lower)	Nonkeratinized stratified squamous epithelium; cardiac glands at lower end	Small esophageal glands (mainly mucous)	Both layers striated muscle in upper region; both layers smooth muscle in lower region; smooth and striated muscle fascicles mingled in middle region	Adventitia, except at lower end with serosa
Stomach (cardia, fundus, body, pylorus)	Surface mucous cells and gastric pits leading to gastric glands with parietal and chief cells, (in the fundus and body) or to mucous cardiac glands and pyloric glands	No distinguishing features	Three indistinct layers of smooth muscle (inner oblique, middle circular, and outer longitudinal)	Serosa
Small intestine (duodenum, jejunum, ileum)	Plicae circulares; villi, with enterocytes and goblet cells, and crypts/glands with Paneth cells and stem cells; Peyer patches in ileum	Duodenal (Brunner) glands (entirely mucous); possible extensions of Peyer patches in ileum	No distinguishing features	Mainly serosa
Large intestine (cecum, colon, rectum)	Intestinal glands with goblet cells and absorptive cells	No distinguishing features	Outer longitudinal layer separated into three bands, the teniae coli	Mainly serosa, with adventitia at rectum
Anal canal	Stratified squamous epithelium; longitudinal anal columns	Venous sinuses	Inner circular layer thickened as internal sphincter	Adventitia

## Digestive Tract SUMMARY OF KEY POINTS

### Oral Cavity

- The oral cavity is lined primarily by mucosa with nonkeratinized stratified squamous epithelium, with keratinized stratified squamous epithelium on the hard palate and gingiva.
- The dorsal surface mucosa of the tongue has projecting lingual papillae of four types: filiform papillae with keratinized epithelium and nonkeratinized foliate, fungiform, and large vallate papillae.
- All lingual papillae, except the filiform type, have epithelial taste buds on their sides, with chemosensory gustatory cells with synapses to basal sensory innervation, support cells, and an apical taste pore.
- Each tooth has enamel covering its crown and neck and a vascularized, innervated central pulp cavity within the dentin that makes up the roots and extends into the neck.
- Enamel calcifies as parallel enamel rods in a process guided by the protein amelogenin after secretion from columnar epithelial cells called ameloblasts in the enamel organ of the embryonic tooth bud.

- Predentin is secreted as elongated dentinal tubules from tall odontoblasts, which line the pulp cavity and persist in the fully formed tooth, with apical odontoblast processes extending between the tubules.
- The periodontium of each tooth consists of a thin layer of bone-like cementum surrounding dentin of the roots and the periodontal ligament binding the cementum to alveolar bone on the jaw socket.

### Layers of the Digestive Tract

- From the esophagus to the rectum, the digestive tract has four major layers: a lining mucosa, a submucosa, a muscularis, and an outermost adventitia or mesothelium-covered serosa.
- The mucosa varies regionally along the tract but always consists of a lining epithelium on a lamina propria of loose connective tissue and smooth muscle fibers extending from muscularis mucosae layer.



## 食道

- 食道粘膜は非角質性の重層扁平上皮から成り、その筋層は上端に横紋があり、下端に平滑筋があり、中間部には混合線維型がある。

■ 食道の外側の大部分は外膜で、縦隔の他の組織と共に。

■ 食道胃接合部では、重層扁平上皮が突然、多数の分岐した管状腺として粘膜固有層に陥入する単純円柱上皮に変化します。

## 胃

- 胃には4つの主要な領域があります。組織学的にはかなり類似している上噴門と下幽門、そしてその間にある胃底と胃体部も同様に類似しています。
- 胃底と胃体部の粘膜は多数の胃小窩によって貫通されており、胃小窩は胃腔と同様に表面粘液細胞で覆われ、分岐した胃腺に通じています。

- 表面の粘液細胞は重炭酸イオンを含む粘性の厚い粘液層を分泌し、これらの細胞とその下の粘膜固有層を保護します。

- 胃腺は、4つの主要な細胞型を持つ上皮で覆われており、これらの腺の狭い頸部領域には多能性幹細胞も存在します。

■ 粘液頸細胞には表面粘液細胞の未熟な前駆細胞が含まれますが、胃小窩に移動する間に生成されるアルカリ性の粘液は少なくなります。

■ 壁細胞は、胃液分泌物中のHClを生成するための多数のミトコンドリアと大きな細胞内細管を有する大型細胞であり、ビタミンB12の内因子も分泌する。

■ 主細胞（酵素原細胞）は主に胃腺の下半分に集まっており、タンパク質ペプシノーゲンを分泌します。このタンパク質ペプシノーゲンは内腔内の低 pH によって活性化され、主要なプロテアーゼであるペプシンを形成します。

■ 腸内分泌細胞は、消化管神経内分泌系の散在性上皮細胞であり、食物の消化中にペプチドホルモンを放出して近隣組織の活動を調節します。

- 胃の噴門部と幽門部の粘膜には分岐した噴門腺と幽門腺があり、これらはほぼ完全に円柱状の粘液細胞で構成され、壁細胞と主細胞は存在しません。

## 小腸

- 小腸には、十二指腸腺と呼ばれる粘膜下層の大きな粘液腺がある十二指腸、空腸、そして大きな粘膜と粘膜下層のパイエル板がある回腸の3つの領域があります。

■ 小腸のすべての領域の粘膜には、数百万の突出した絨毛があり、粘膜固有層の中心部を覆う単純な円柱上皮と、その間に単純な管状の腸腺（または陰窩）があります。

■ これらの腺の幹細胞は、絨毛の円柱上皮細胞、主に栄養吸収のための杯細胞と腸管上皮細胞、および腺の奥深くにあるディフェンシン産生パネート細胞を生成します。

■ 糖衣内の炭水化物とポリペプチドの消化の最終段階で生成された糖とアミノ酸は、腸管上皮細胞を通過して毛細血管に取り込まれます。

■ 脂質消化産物は胆汁酸塩と結合し、腸管上皮細胞に取り込まれ、トリグリセリドとリポタンパク質に変換されてキロミクロンとして放出され、乳汁分泌管と呼ばれるリンパ管に取り込まれる。各絨毛の中心部にあります。

■ 粘膜固有層と粘膜筋板の平滑筋は、自律神経粘膜下神経叢（マイスナー神経叢）の制御下で絨毛を動かし、乳節を通るリンパの推進を助けます。

■ 筋層の内側輪状層と外側縦層の平滑筋は、自律神経筋叢（アウエルバッハ神経叢）の制御下で、強力な蠕動運動を生み出します。

## 大腸

- 大腸は、虫垂を含む短盲腸、上行結腸、横行結腸、下行結腸、S状結腸を含む長結腸、および直腸の3つの主要な領域から構成されます。

■ 大腸の粘膜には、その全長にわたって何百万もの短い単純な管状の腸腺があり、その内側には潤滑性の杯細胞と、水分と電解質を吸収する吸収細胞が並んでいます。

- 結腸筋層の外側縦層は、結腸腱と呼ばれる3つの平滑筋帯に分かれており、便を直腸へ蠕動運動させる働きをします。

## 肛門管

■ 肛門管では、直腸の内側を覆う単純な円柱上皮が、肛門の外側で突然皮膚の重層扁平上皮に変化します。

肛門。

■ 肛門付近では、直腸筋層の円形層が内肛門括約筋を形成し、外肛門括約筋の横紋筋によってさらに制御されます。

## 消化管知識を評価する

1. 口腔のどの構造に味蕾が最も集中して存在するでしょうか？

- 茸状乳頭
- 歯肉
- 糸状乳頭
- 舌の腹面
- 有郭乳頭

2. 特定の抗生物質療法は、小腸の内壁の細胞の入れ替わりを遅らせます。どのタイプの組織が失われる可能性があるのでしょうか？

- 絨毛偽重層円柱上皮
- 単純立方上皮
- 単純円柱上皮
- 不動毛を伴う偽重層円柱上皮
- 重層扁平上皮、非角化上皮

3. 大腸の腸管上皮細胞は、腸管壁のどの層の臓器特異的な特殊化を表していますか？

- 上皮
- 粘膜固有層
- 粘膜筋板
- 外筋層
- セローサ

4. パネート細胞数の減少によって生じる可能性が高いのは次のうちどれですか。

- 糖衣のイニング
- 脂肪の分解の減少
- 消化されないタンパク質のレベルの上昇
- 腸内の粘液の減少
- 腸内細菌の増加

## Esophagus

- The mucosa of the **esophagus** has **nonkeratinized stratified squamous epithelium**; its muscularis is striated at its superior end with smooth muscle at its inferior end, with mixed fiber types in the middle.
- Most of the outer layer of the esophagus is **adventitia**, merging with other tissues of the mediastinum.
- At the **esophagogastric junction**, stratified squamous epithelium changes abruptly to **simple columnar epithelium** invaginating into the lamina propria as many branched tubular glands.

## Stomach

- The **stomach** has four major regions: the superior **cardia** and inferior **pylorus**, which are rather similar histologically, and the intervening **fundus** and **body**, which are also similar.
- The mucosa of the stomach fundus and body is penetrated by numerous **gastric pits**, which are lined like the stomach lumen with **surface mucous cells** and which lead into branching **gastric glands**.
- The surface mucous cells secrete a thick layer of **viscous mucus** with **bicarbonate ions**, which protects these cells and the underlying lamina propria.
- The **gastric glands** are lined by epithelium with four **major cell types**, as well as their pluripotent **stem cells** that are located in the narrow neck regions of these glands:
  - **Mucous neck cells** include immature precursors of the surface mucous cells but produce less alkaline mucus while migrating up into the gastric pits.
  - **Parietal cells** are large cells with many mitochondria and **large intracellular canaliculi** for production of **HCl** in the gastric secretion; they also secrete **intrinsic factor** for vitamin B<sub>12</sub> uptake.
  - **Chief (zymogenic) cells**, clustered mainly in the lower half of the gastric glands, secrete the protein **pepsinogen** that is activated by the low pH in the lumen to form the major protease **pepsin**.
  - **Enteroendocrine cells** are scattered epithelial cells of the **diffuse neuroendocrine system**, which release **peptide hormones** to regulate activities of neighboring tissues during food digestion.
- The mucosa of the stomach cardiac and pyloric regions has branching **cardiac** and **pyloric glands**, which consist almost entirely of columnar **mucous cells**, lacking parietal and chief cells.

## Small Intestine

- The **small intestine** has three regions: the **duodenum** with large mucous glands in the submucosa called **duodenal glands**; the **jejunum**; and the **ileum** with the large mucosal and submucosal **Peyer patches**.
- In all regions of small intestine the mucosa has millions of projecting **villi**, with simple columnar epithelium over cores of lamina propria, and intervening simple tubular **intestinal glands** (or crypts).
- Stem cells in these glands produce the columnar epithelial cells of villi, mainly **goblet cells** and **enterocytes** for nutrient absorption, as well as defensin-producing **Paneth cells** deep in the glands.
- **Sugars** and **amino acids** produced by final steps of digesting carbohydrates and polypeptides in the **glycocalyx** undergo transcytosis through **enterocytes** for uptake by **capillaries**.
- Products of **lipid** digestion associate with bile salts, are taken up by enterocytes, and are converted to **triglycerides** and **lipoproteins** for release as **chylomicrons** and uptake by a lymphatic called a **lacteal** in the core of each villus.
- **Smooth muscle** of the **lamina propria** and **muscularis mucosae**, under the control of the autonomic **submucosal (Meissner) plexus**, moves the villi and helps propel lymph through the lacteals.
- **Smooth muscle** in the **inner circular layer** and the **outer longitudinal layer** of the muscularis, under the control of the autonomic **myenteric (Auerbach) plexus**, produces strong peristalsis.

## Large Intestine

- The **large intestine** has three major regions: the short **cecum**, with the appendix; the long **colon**, with its ascending, transverse, descending, and sigmoid portions; and the **rectum**.
- Along its entire length, the mucosa of the large intestine has millions of short simple tubular **intestinal glands**, lined by lubricant **goblet cells** and **absorptive cells** for the uptake of water and electrolytes.
- The **muscularis** of the colon has its outer longitudinal layer subdivided into three bands of smooth muscle called **teniae coli**, which act in the peristaltic movement of feces to the rectum.

## Anal Canal

- At the **anal canal** the simple columnar epithelium lining the rectum shifts abruptly to **stratified squamous epithelium** of the skin at the **anus**.
- Near the anus the circular layer of the rectum's muscularis forms the **internal anal sphincter**, with further control exerted by **striated muscle** of the **external anal sphincter**.

## Digestive Tract ASSESS YOUR KNOWLEDGE

- In which of the following structures of the oral cavity would taste buds be localized in the highest concentration?
  - Fungiform papillae
  - Gingiva
  - Filiform papillae
  - Ventral surface of the tongue
  - Vallate papillae
- Certain antibiotic therapies slow the replacement of the cells lining the small intestine. This may cause the loss of what tissue type?
  - Ciliated pseudostratified columnar epithelium
  - Simple cuboidal epithelium
  - Simple columnar epithelium
  - Pseudostratified columnar epithelium with stereocilia
  - Stratified squamous, nonkeratinized epithelium
- The teniae coli of the large intestine represent an organ-specific specialization of which layer of the intestinal tract wall?
  - Epithelium
  - Lamina propria
  - Muscularis mucosa
  - Muscularis externa
  - Serosa
- Which of the following would most likely result from a reduction in the number of Paneth cells?
  - Thinning of the glycocalyx
  - Reduced breakdown of fats
  - Elevated levels of undigested proteins
  - Decreased mucus in the intestine
  - Increased number of intestinal bacteria



328第15章消化管

5. 病理学研究室で研修中の医学生は、担当している癌患者の消化器科医から提供された組織のラベルのない顕微鏡スライドを渡されます。粘膜と粘膜下層の保存状態は悪く、厚い筋層のみがよく染色され、横紋筋が見られます。このスライドは、消化管のどの領域の生検を示している可能性が高いでしょうか。
- a. 幽門括約筋
  - b. 食道
  - c. 結腸
  - d. 胃体部
  - e. 回腸
6. 下痢は、以下の臓器のどれが機能不全に陥った場合に起こる可能性があるか  
糞便から水分を吸収する役割をご存知ですか？
- a. 肛門管
  - b. 盲腸
  - c. 結腸
  - d. 小腸
  - e. 十二指腸
7. 小腸の吸収細胞について正しいのはどれか。  
腸？
- a. 腸内分泌細胞とも呼ばれる
  - b. 基底表面を覆う微絨毛が多数ある
  - c. 能動輸送によって脂質を吸収する
  - d. 吸収された脂質からトリグリセリドを合成する
  - e. 絨毛の先端で有糸分裂を起こし、陰窩に脱落する
8. 52歳の男性が虫垂切除術後にカルチノイドと診断されました。この疾患を引き起こす腸内分泌細胞は、次のどれで杯細胞と異なりますか？
- a. 分泌物の放出方向
  - b. 分泌産物の放出のためのエキソサイトーシスの利用
  - c. 小腸と大腸に存在する
  - d. 陰窩幹細胞由来
  - e. 単純円柱上皮におけるeirの位置

9. 14か月の女児が、生えてきた乳歯が乳白色で、表面が割れたり欠けたりしているため小児歯科クリニックに連れてこられました。X線検査では、球根状の歯冠、細い歯根、拡大した中央の空洞が明らかになりました。1本の歯の中央の空洞のすぐ周囲の組織を生検し、組織学検査の準備を行ったところ、不規則で間隔の広い細管が明らかになりました。この不規則な組織層に当てはまるのは次のうちどれですか。
- a. 骨と似た組成を持ち、外観が骨細胞に似た細胞によって生成されます。
  - b. 非コラーゲン性マトリックス上に形成され、それを分泌した同じ細胞によって石灰化後に再吸収されます。
  - c. 豊富な神経、微小血管、疎性結合組織が含まれています。
  - d. それは、以下の細胞から分泌されるミネラル化されたコラーゲンから構成されています。  
神経堤。
  - e. 糖尿病患者では炎症が起きる部位であり、ビタミンC欠乏症に敏感です。
10. 39歳の女性が、呼吸困難、疲労、顔色蒼白、頻脈、嗅覚障害、下痢の症状で来院しました。検査結果は、ヘマトクリット 32% (正常 36.1%~44.3%)、MCV 102 fL (正常 78~98 fL)、網状赤血球 0.3% (正常 0.5%~2.0%)、ビタミンB12 95 pg/mL (正常 200~900 pg/mL)、シリング試験のステージ I 異常でした。消化管の1つの領域にある細胞型に対する自己抗体が検出されました。これらの細胞はどの領域に存在しますか。
- a. 食道
  - b. 胃体部
  - c. 胃の幽門部
  - d. 胃の噴門部
  - e. 十二指腸

5. A medical student on a rotation in the pathology laboratory is given an unlabeled microscope slide with tissue provided by a gastroenterologist from a cancer patient she is attending. The mucosa and submucosa are poorly preserved, with only the thick muscularis well-stained, showing striated fibers. The slide most likely shows a biopsy of which region of the GI tract?
  - a. Pyloric sphincter
  - b. Esophagus
  - c. Colon
  - d. Corpus of the stomach
  - e. Ileum
6. Diarrhea may result if which of the following organs fails to carry out its role in absorbing water from the feces?
  - a. Anal canal
  - b. Cecum
  - c. Colon
  - d. Jejunum
  - e. Duodenum
7. Which of the following is true of the absorptive cells of the small intestine?
  - a. Also called enteroendocrine cells
  - b. Have many microvilli covering their basal surfaces
  - c. Absorb lipids by active transport
  - d. Synthesize triglycerides from absorbed lipids
  - e. Undergo mitosis at tips of villi and are sloughed off into crypts
8. A 52-year-old man is diagnosed with a carcinoid after an appendectomy. The enteroendocrine cells producing this disorder differ from goblet cells in which of the following?
  - a. The direction of release of secretion
  - b. The use of exocytosis for release of secretory product
  - c. Their presence in the small and large intestines
  - d. The origin from a crypt stem cell
  - e. Their location in a simple columnar epithelium
9. A 14-month-old girl is brought to the pediatric dentistry clinic because her erupted deciduous teeth are opalescent with fractured and chipped surfaces. X-rays reveal bulb-shaped crowns, thin roots, and enlarged central cavities. Tissue immediately surrounding one tooth's central cavity is biopsied and prepared for histology, which reveals irregular, widely spaced tubules. Which of the following applies to this irregular tissue layer?
  - a. It has a composition similar to that of bone and is produced by cells similar in appearance to osteocytes.
  - b. It is formed on a noncollagenous matrix that is resorbed after mineralization by the same cells that secreted it.
  - c. It contains abundant nerves, microvasculature, and loose connective tissue.
  - d. It consists of mineralized collagen secreted by cells derived from the neural crest.
  - e. It is the site of inflammation in diabetic patients and is sensitive to vitamin C deficiency.
10. A 39-year-old woman presents with dyspnea, fatigue, pallor, tachycardia, anosmia, and diarrhea. Laboratory results are: hematocrit 32% (normal 36.1%-44.3%), MCV 102 fL (normal 78-98 fL), 0.3% reticulocytes (normal 0.5%-2.0%), 95 pg/mL vitamin B<sub>12</sub> (normal 200-900 pg/mL), and an abnormal stage I of the Schilling test. Autoantibodies are detected against a cell type located in one region of the GI tract. In which regions would those cells be found?
  - a. Esophagus
  - b. Body of the stomach
  - c. Pyloric region of the stomach
  - d. Cardiac region of the stomach
  - e. Duodenum