

**Figuur 16-8** De anatomie van de maag

(a) Op dit voorbeeld van de maag zijn de belangrijkste uitwendige kenmerken te zien. (b) De maag wordt omgeven door de peritoneaalholte en wordt op zijn plaats gehouden door het omentum majus en het omentum minus. (c) In deze schematische doorsnede is de opbouw van de maagwand te zien. (d) In dit schema van een maagsapklier zijn de plaatsen van de pariëtale cellen, de zymogene cellen (hoofdcellen) en de G-cellen die gastrine produceren te zien.

bevat de muscularis externa van de maag drie lagen. Hij heeft een laag lengtespieren, een laag kringspieren en een binnenste laag van schuine spieren. Door deze extra laag glad spierweefsel is de maagwand sterker en kan het voedsel beter worden gekneet en gemengd; dit is noodzakelijk om chymus te vormen.

Het viscerale peritoneum, dat het buitenste oppervlak van de maag bedekt, loopt door in een paar mesenteria. Het **omentum majus** loopt door onder de *curvatura major* en vormt een enorme buidel die over de ingewanden in de buikholte heen hangt en deze beschermt (figuur 16-8b). Het veel kleinere **omentum minus** loopt van de *curvatura minor* naar de lever.

#### 16.4.1 De maagwand

De maag is bekleed met eenlagig cilindrisch epitheel waarin zeer veel slijmcellen aanwezig zijn. Het basische slijm dat door dit *slijmvlies* wordt afgegeven, bedekt en beschermt de epitheelcellen tegen zuren, enzymen en andere stoffen die slijtage kunnen veroorzaken. Ondiepe instulpingen, zogenoemde **maaggroefjes**, monden uit op het oppervlak van de maag (figuur 16-8c). De slijmcellen aan de basis of *hals* van elk maaggroefje delen zich actief en vervangen de oppervlakkig gelegen cellen van het slijmvlies die worden afgestoten en aan de spijsbrij worden afgegeven. Een typisch maagepitheel heeft een levensduur van drie tot zeven dagen.

In de fundus en het corpus van de maag staat elk maaggroefje in verbinding met **maagwandklieren** die diep in de onderliggende lamina propria doorlopen (figuur 16-8d). Bij elkaar geven ze dagelijks ongeveer 1500 ml **maagsap** af. De cellen die de bestanddelen van maagsap vormen zijn **pariëtale cellen** en **zymogene cellen** (figuur 16-8d).

Maagwandklieren in het onderste deel van de maag (de *pylorus*) bevatten daarnaast ook endocriene cellen die betrokken zijn bij het reguleren van de activiteit van de maag zoals we verderop gaan bespreken.

#### Pariëtale cellen

**Pariëtale cellen** geven de intrinsieke factor en zoutzuur (HCl) af. De **intrinsieke factor** vergemakkelijkt de opname van vitamine B12 door de darmwand heen. (Dit hoofdstuk 11 bleek dat deze vitamine nodig is voor normale erythropoëse). Zoutzuur verlaagt de pH van het maagsap waardoor de maaginhoud op een pH van 1,5-2,0 wordt gehouden. Het zuur van het maag-

sap doodt micro-organismen, breekt celwanden van plantencellen en bindweefsel in vlees af en activeert de enzymen van de zymogene cellen.

#### Zymogene cellen

**Zymogene cellen** (of hoofdcellen) geven een eiwit af in de maagholte dat **pepsinogeen** wordt genoemd. Als dit eiwit in contact komt met het zoutzuur dat door de pariëtale cellen wordt afgegeven, wordt pepsinogeen in **pepsine** omgezet, een *proteolytisch enzym* (enzym dat eiwitten afbreekt). Bij pasgeborenen (maar niet bij volwassenen) vormt de maag **rennine** en **maaglipase**, enzymen die belangrijk zijn voor de vertering van melk. Rennine stremt melkeiwitten, waardoor deze langzamer door de maag passeren en er meer tijd is voor de vertering. Maaglipase start de vertering van vetten in melk.

#### KLINISCHE AANTEKENING

##### Gastritis en maagzweren

Ontsteking van de mucosa van de maag wordt **gastritis** genoemd. Ze kan ontstaan na inname van drugs of medicijnen, waaronder alcohol en aspirine. Gastritis wordt ook in verband gebracht met roken, ernstige fysieke of emotionele stress, bacteriologische infecties van de maagwand en inname van sterk zure of basische chemische stoffen.

Gastritis kan leiden tot het ontstaan van maagzweren. Een **maagzweer** ontstaat als de maagzuren en -enzymen de bekleding van de maag of van proximale gedeelten van de dunne darm (duodenum) beschadigen. Waar de zweer zich bevindt, wordt aangegeven door de term **ulcus pepticum** (zweer in de maag) of **ulcus duodeni** (zweer in de twaalfvingerige darm). Maagzweren zijn het gevolg van een overmatige productie van zuur of een onvoldoende productie van het basische slijm dat het dekweefsel tegen dit zuur beschermt. Het is bekend dat infectie met de bacterie *Helicobacter pylori* verantwoordelijk is voor meer dan 80 procent van de maagzweren. De behandeling van maagzweren omvat de toediening van geneesmiddelen als cimetidine (Tagamet) die de vorming van maagzuur remmen, in combinatie met antibiotica als *Helicobacter pylori* aanwezig is.

### 16.4.2 De regulering van de activiteit van de maag

De vorming van zuur en enzymen door de mucosa van de maag kan (1) worden aangestuurd door het centraal zenuwstelsel, (2) worden gereguleerd door reflexen van het enterische zenuwstelsel die in de wand van de maag worden gecoördineerd en (3) door hormonen van het spijsverteringskanaal worden gereguleerd. De afgifte van klierproducten door de maagwandklieren verloopt in drie overlappende fasen die naar de plaats van het regelcentrum zijn genoemd: de cefalische fase, de gastrische fase en de intestinale fase (spotlight figuur 16-9•).

1. *Cefalische fase.* De **cefalische fase** begint wanneer je voedsel waarneemt of eraan denkt (1 in figuur 16-9•). Deze fase bereidt de maag erop voor voedsel te ontvangen. Hij wordt aangestuurd door verschillende delen van het centraal zenuwstelsel, waaronder de cortex cerebri en de hypothalamus. De neurale output verloopt via het parasymphatische deel van het autonome zenuwstelsel. De n. vagus innerveert de plexus in de submucosa van de maag. Vervolgens innervieren postganglionaire parasymphatische vezels de muceuze cellen, de pariëtale cellen, de chieff cells en de endocriene cellen van de maag.
2. *Gastrische fase.* De **gastrische fase** begint wanneer voedsel in de maag is aangekomen (2 in figuur 16-9•). De prikkeling van rekceptoren in de maagwand en van chemoreceptoren in de mucosa brengen plaatselijke reflexen op gang die door de meissnerplexus en de plexus myentericus worden gereguleerd. De plexus myentericus stimuleert knedende bewegingen van de spierlaag van de maagwand. De meissnerplexus stimuleert de pariëtale cellen en de zymogene cellen; G-cellen in de maagwandklieren in de pylorus worden eveneens door de meissnerplexus gestimuleerd om het hormoon **gastrine** aan de bloedsomloop af te geven. Eiwitten en kleine hoeveelheden alcohol zijn krachtige prikkels voor de afgifte van maagsap, doordat ze de chemoreceptoren in de maagwandbekleding stimuleren. Zowel pariëtale als zymogene cellen reageren op de aanwezigheid van gastrine door meer klierproduct af te geven. Het effect op de pariëtale cellen is het meest uitgesproken en de pH van het maagsap daalt sterk. Deze fase kan

gedurende enkele uren doorgaan, terwijl het voedsel door de zuren en de enzymen wordt bewerkt. Tijdens deze fase stimuleert gastrine ook de contracties van de maag waardoor de maaginhoud wordt gewerveld en gemengd. Hierdoor wordt het voedsel met de maagsappen gemengd waarbij chymus ontstaat. Naarmate het mengen langer duurt, breiden de contracties zich over de gehele lengte van de maag uit en telkens wanneer de pylorus zich ontspant, wordt een kleine hoeveelheid chymus door de kringspier van de pylorus de dunne darm in gestuwd.

3. *Intestinale fase.* De **intestinale fase** van de maagsapsecretie begint wanneer de eerste chymus de duodenum of de dunne darm binnenkomt (3 in figuur 16-9•). De regulering van deze fase (neuraal en endocrien) is grotendeels remmend; door de snelheid te reguleren waarmee de maag wordt gelegeerd, wordt ervoor gezorgd dat alle functies van de dunne darm efficiënt kunnen verlopen. Door de verplaatsing van chymus worden de rekceptoren in de maagwand bijvoorbeeld tijdelijk minder geprikkeld, terwijl de rekceptoren in de wand van de dunne darm juist sterker worden geprikkeld. Hierdoor wordt de *enterogastrische reflex* gestimuleerd. Door deze reflex wordt de neurale stimulering van de gastrinevorming en de beweeglijkheid van de maag en verdere verplaatsing van chymus tijdelijk afgeremd. Tegelijkertijd stimuleert het binnenkomen van chymus de afgifte van de hormonen van het spijsverteringskanaal, met name *secretine*, *cholecystokinine (CCK)* en *gastric inhibitory polypeptide (GIP)*. Doordat de activiteit van de maag is afgenomen, heeft de dunne darm de tijd om zich aan het binnengekomen zuur aan te passen.

Reflexen die de maagactiviteit remmen worden geactiveerd wanneer het proximale gedeelte van de dunne darm te vol, te zuur of te zeer door chymus geprikkeld raakt. Deze remmende reflexen worden ook geactiveerd wanneer in dit deel onvolledig verteerde eiwitten, koolhydraten of vetten aanwezig zijn. In het algemeen is de snelheid waarmee chymus zich naar de dunne darm verplaatst het hoogst wanneer de maag sterk is uitgerekt en de maaltijd relatief weinig eiwitten bevat. Een grote maaltijd met kleine hoeveelheden eiwit, grote hoeveelheden koolhydraten (zoals rijst

### 16.4.2 De regulering van de activiteit van de maag

De vorming van zuur en enzymen door de mucosa van de maag kan (1) worden aangestuurd door het centraal zenuwstelsel, (2) worden gereguleerd door reflexen van het enterische zenuwstelsel die in de wand van de maag worden gecoördineerd en (3) door hormonen van het spijsverteringskanaal worden gereguleerd. De afgifte van klierproducten door de maagwandklieren verloopt in drie overlappende fasen die naar de plaats van het regelcentrum zijn genoemd: de cefalische fase, de gastrische fase en de intestinale fase (spotlight figuur 16-9).

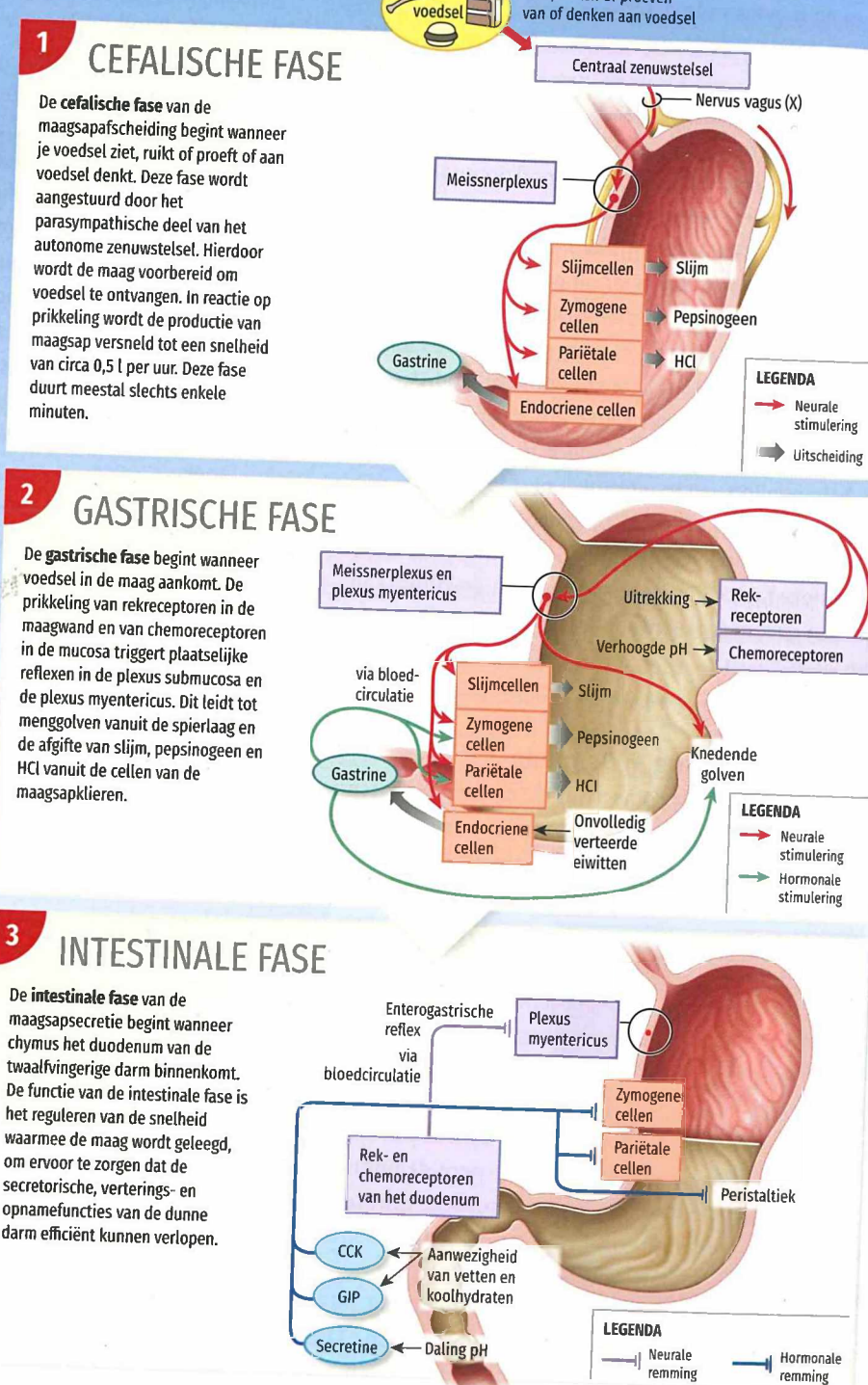
1. **Cefalische fase.** De cefalische fase begint wanneer je voedsel waarneemt of eraan denkt (1 in figuur 16-9). Deze fase bereidt de maag erop voor voedsel te ontvangen. Hij wordt aangestuurd door verschillende delen van het centraal zenuwstelsel, waaronder de cortex cerebri en de hypothalamus. De neurale output verloopt via het parasympathische deel van het autonome zenuwstelsel. De n. vagus innerveert de plexus in de submucosa van de maag. Vervolgens innervieren postganglionaire parasympathische vezels de mucuze cellen, de pariëtale cellen, de chief cells en de endocriene cellen van de maag.
2. **Gastrische fase.** De gastrische fase begint wanneer voedsel in de maag is aangekomen (2 in figuur 16-9). De prikkeling van rekceptoren in de maagwand en van chemoreceptoren in de mucosa brengen plaatselijke reflexen op gang die door de meissnerplexus en de plexus myentericus worden gereguleerd. De plexus myentericus stimuleert knedende bewegingen van de spierlaag van de maagwand. De meissnerplexus stimuleert de pariëtale cellen en de zymogene cellen; G-cellen in de maagwandklieren in de pylorus worden eveneens door de meissnerplexus gestimuleerd om het hormoon **gastrine** aan de bloedsomloop af te geven. Eiwitten en kleine hoeveelheden alcohol zijn krachtige prikkels voor de afgifte van maagsap, doordat ze de chemoreceptoren in de maagwandbekleding stimuleren. Zowel pariëtale als zymogene cellen reageren op de aanwezigheid van gastrine door meer klierproduct af te geven. Het effect op de pariëtale cellen is het meest uitgesproken en de pH van het maagsap daalt sterk. Deze fase kan

gedurende enkele uren doorgaan, terwijl het voedsel door de zuren en de enzymen wordt bewerkt. Tijdens deze fase stimuleert gastrine ook de contracties van de maag waardoor de maaginhoud wordt gewerveld en gemengd. Hierdoor wordt het voedsel met de maagsappen gemengd waarbij chymus ontstaat. Naarmate het mengen langer duurt, breiden de contracties zich over de gehele lengte van de maag uit en telkens wanneer de pylorus zich ontspant, wordt een kleine hoeveelheid chymus door de kringspier van de pylorus de dunne darm in gestuwd.

3. **Intestinale fase.** De intestinale fase van de maagsapsecretie begint wanneer de eerste chymus de duodenum of de dunne darm binnenkomt (3 in figuur 16-9). De regulering van deze fase (neuraal en endocrien) is grotendeels remmend; door de snelheid te reguleren waarmee de maag wordt geleegd, wordt ervoor gezorgd dat alle functies van de dunne darm efficiënt kunnen verlopen. Door de verplaatsing van chymus worden de rekceptoren in de maagwand bijvoorbeeld tijdelijk minder geprikkeld, terwijl de rekceptoren in de wand van de dunne darm juist sterker worden geprikkeld. Hierdoor wordt de **enterogastrische reflex** gestimuleerd. Door deze reflex wordt de neurale stimulering van de gastrinevorming en de beweeglijkheid van de maag en verdere verplaatsing van chymus tijdelijk afgeremd. Tegelijkertijd stimuleert het binnenkomen van chymus de afgifte van de hormonen van het spijsverteringskanaal, met name **secretine**, **cholecystokinine (CCK)** en **gastric inhibitory polypeptide (GIP)**. Doordat de activiteit van de maag is afgenomen, heeft de dunne darm de tijd om zich aan het binnengekomen zuur aan te passen.

Reflexen die de maagactiviteit remmen worden geactiveerd wanneer het proximale gedeelte van de dunne darm te vol, te zuur of te zeer door chymus geprikkeld raakt. Deze remmende reflexen worden ook geactiveerd wanneer in dit deel onvolledig verteerde eiwitten, koolhydraten of vetten aanwezig zijn. In het algemeen is de snelheid waarmee chymus zich naar de dunne darm verplaatst het hoogst wanneer de maag sterk is uitgerekt en de maaltijd relatief weinig eiwitten bevat. Een grote maaltijd met kleine hoeveelheden eiwit, grote hoeveelheden koolhydraten (zoals rijst

De maagactiviteit wordt gereguleerd door het centraal zenuwstelsel, door reflexen in de wanden van het spijsverteringskanaal en door hormonen van het spijsverteringskanaal. Regulering van de maagsapafgifte vindt plaats in drie elkaar overlappende fasen die zijn vernoemd naar de plaats waar ze worden aangestuurd.



Het duodenum is het gedeelte van de dunne darm dat het dichtst bij de maag ligt. Het speelt een sleutelrol bij het reguleren van de vertering omdat het de inhoud van de chymus meet die het vanuit de maag ontvangt. Het duodenum past de activiteiten van de maag en accessoire organen aan om de lager gelegen (distale) delen van de dunne darm te beschermen.

of pasta), wijn (alcohol) en koffie zal de maag zeer snel verlaten. Dit gebeurt doordat zowel alcohol als koffie de afgifte van maagsap en de activiteit van de spiercellen in de maagwand bevorderen.

#### KLINISCHE AANTEKENING

##### Maagkanker

**Maagkanker** is een van de meest voorkomende vormen van kanker. Met name in Japan en Korea komt de aandoening vaak voor. In deze landen bestaat het voedingspatroon onder meer uit grote hoeveelheden ingepekelde voedingsmiddelen. Doordat de symptomen vaak lijken op die van een maagzweer, wordt de aandoening meestal pas in een laat stadium herkend. Voor de diagnose worden röntgenfoto's van de maag gemaakt bij verschillende maten van vulling (figuur 1.11). De behandeling van maagkanker bestaat uit een *gastrectomie*, een volledige of gedeeltelijke chirurgische verwijdering van de maag. Het ontbreken van de intrinsieke factor (die in de maag wordt gevormd) kan worden gecompenseerd met een hoge dagelijkse dosis van vitamine B12.

#### 16.4.3 Vertering in de maag

In de maag zorgt pepsine voor de eerste, gedeeltelijke vertering van eiwitten. Gedurende een variabele periode kan de vertering van koolhydraten door **amylase** uit het speeksel en van vetten door llinguaal lipase doorgaan. Deze enzymen blijven werken totdat de pH van de maaginhoud lager wordt dan 4,5 en blijven meestal een tot twee uur na een maaltijd actief.

Wanneer de maaginhoud vloeibaarder wordt en de pH in de buurt van de 2,0 komt, neemt de activiteit van pepsine toe en begint de eiwitafbraak. De eiwitvertering wordt in de maag niet voltooid doordat de tijd beperkt is en pepsine alleen bepaalde peptidebindingen aanvalt. Meestal breekt pepsine complexe eiwitten af tot kleinere peptiden- en polypeptidenketens voordat de chymus de dunne darm binnenkomt.

Chemische vertering vindt plaats in de maag, maar voedingsstoffen worden daar niet opgenomen. Daar zijn vier redenen voor: (1) de epitheelcellen zijn met een laag basisch slijm bedekt en komen niet direct met de maaginhoud in contact, (2) de epitheelcellen hebben geen gespecialiseerde transportprocessen die in de

cellen van de dunne darm wel aanwezig zijn, (3) de maagwandbekleding is ondoorlaatbaar voor water en (4) de vertering is nog niet voltooid op het moment dat de maaginhoud de maag verlaat. Op dit moment zijn de meeste koolhydraten, vetten en eiwitten nog maar gedeeltelijk afgebroken.

#### INZICHTVRAGEN

- 12 Noem de vier belangrijkste delen van de maag.
- 13 Bespreek het belang van de lage pH in de maag.
- 14 Als iemand aan chronische maagzweren lijdt, worden soms de vertakkingen van de nervus vagus die naar de maag lopen, doorgesneden om te proberen de aandoening te verlichten. Waardoor zou deze behandeling effectief kunnen zijn?

*De antwoorden zijn te vinden in bijlage 1 achter in het boek.*

## 16.5 De dunne darm zorgt voor chemische vertering en opname van voedingsstoffen

**Leerdoel:** De anatomie en de histologie van de dunne darm beschrijven en de functies en regulering van darmsecreties verklaren.

De **dunne darm** (*intestinum tenue*) speelt een belangrijke rol bij de vertering en opname van voedingsstoffen. 90 procent van de opname van voedingsstoffen vindt in de dunne darm plaats. (De overige voedingsstoffen worden voor het grootste deel in de dikke darm opgenomen.) De dunne darm is circa 6 m lang en heeft een diameter die uiteenloopt van 4 cm bij de maag tot circa 2,5 cm bij de verbinding met de dikke darm. De dunne darm bestaat uit drie delen: het duodenum (*twaalfvingerige darm*), het jejunum (*nuchtere darm*) en het ileum (*kronkeldarm*) (figuur 16-10):

1. Het **duodenum** (de twaalfvingerige darm) is 25 cm lang en ligt het dichtst bij de maag. Dit gedeelte van de dunne darm is de 'mengkom'. Het ontvangt chymus uit de maag en verteringssappen vanuit de pancreas en de lever. Vanuit zijn verbinding met de maag buigt het duodenum in de vorm van een C

of pasta), wijn (alcohol) en koffie zal de maag zeer snel verlaten. Dit gebeurt doordat zowel alcohol als koffie de afgifte van maagsap en de activiteit van de spiercellen in de maagwand bevorderen.

### KLINISCHE AANTEKENING

#### Maagkanker

**Maagkanker** is een van de meest voorkomende vormen van kanker. Met name in Japan en Korea komt de aandoening vaak voor. In deze landen bestaat het voedingspatroon onder meer uit grote hoeveelheden ingepekelde voedingsmiddelen. Doordat de symptomen vaak lijken op die van een maagzweer, wordt de aandoening meestal pas in een laat stadium herkend. Voor de diagnose worden röntgenfoto's van de maag gemaakt bij verschillende maten van vulling (figuur 1.11). De behandeling van maagkanker bestaat uit een *gastrectomie*, een volledige of gedeeltelijke chirurgische verwijdering van de maag. Het ontbreken van de intrinsieke factor (die in de maag wordt gevormd) kan worden gecompenseerd met een hoge dagelijkse dosis van vitamine B12.

#### 16.4.3 Vertering in de maag

In de maag zorgt pepsine voor de eerste, gedeeltelijke vertering van eiwitten. Gedurende een variabele periode kan de vertering van koolhydraten door **amylase** uit het speeksel en van vetten door linguaal lipase doorgaan. Deze enzymen blijven werken totdat de pH van de maaginhoud lager wordt dan 4,5 en blijven meestal een tot twee uur na een maaltijd actief.

Wanneer de maaginhoud vloeibaarder wordt en de pH in de buurt van de 2,0 komt, neemt de activiteit van pepsine toe en begint de eiwitafbraak. De eiwitvertering wordt in de maag niet voltooid doordat de tijd beperkt is en pepsine alleen bepaalde peptidebindingen aanvalt. Meestal breekt pepsine complexe eiwitten af tot kleinere peptiden- en polypeptidenketens voordat de chymus de dunne darm binnenkomt.

Chemische vertering vindt plaats in de maag, maar voedingsstoffen worden daar niet opgenomen. Daar zijn vier redenen voor: (1) de epitheelcellen zijn met een laag basisch slijm bedekt en komen niet direct met de maaginhoud in contact, (2) de epitheelcellen hebben geen gespecialiseerde transportprocessen die in de

cellen van de dunne darm wel aanwezig zijn, (3) de maagwandbekleding is ondoorlaatbaar voor water en (4) de vertering is nog niet voltooid op het moment dat de maaginhoud de maag verlaat. Op dit moment zijn de meeste koolhydraten, vetten en eiwitten nog maar gedeeltelijk afgebroken.

### INZICHTVRAGEN

- 12 Noem de vier belangrijkste delen van de maag.
- 13 Bespreek het belang van de lage pH in de maag.
- 14 Als iemand aan chronische maagzweren lijdt, worden soms de vertakkingen van de nervus vagus die naar de maag lopen, doorgesneden om te proberen de aandoening te verlichten. Waardoor zou deze behandeling effectief kunnen zijn?

De antwoorden zijn te vinden in bijlage 1 achter in het boek.

## 16.5 De dunne darm zorgt voor chemische vertering en opname van voedingsstoffen

**Leerdoel:** De anatomie en de histologie van de dunne darm beschrijven en de functies en regulering van darmsecreties verklaren.

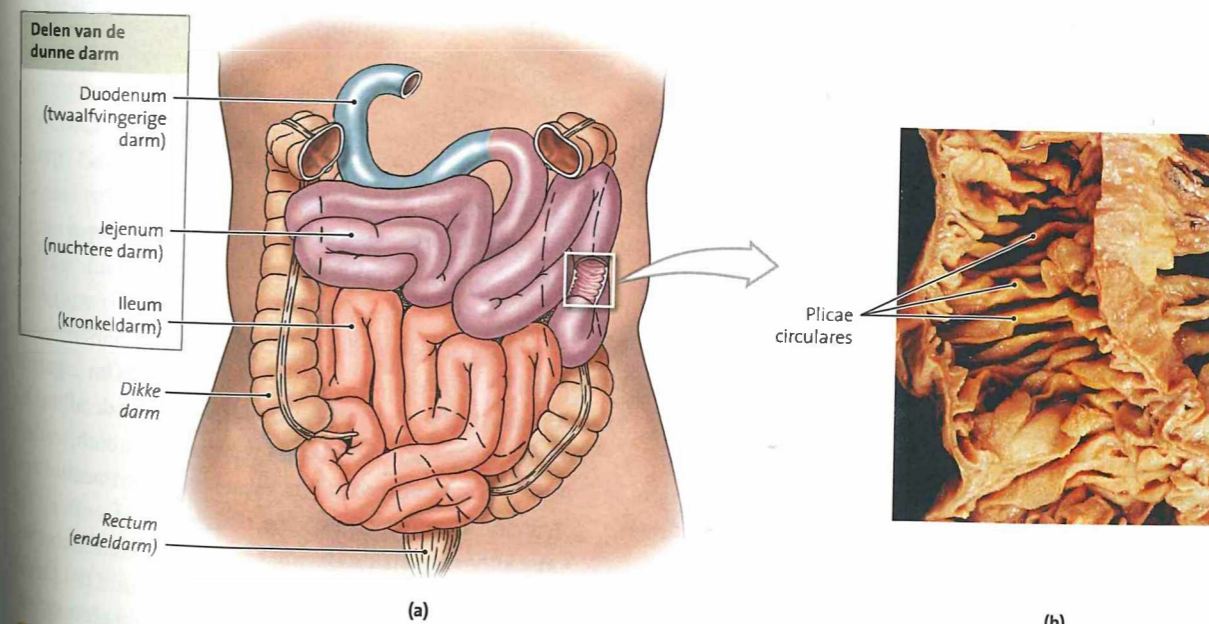
De **dunne darm** (*intestinum tenue*) speelt een belangrijke rol bij de vertering en opname van voedingsstoffen. 90 procent van de opname van voedingsstoffen vindt in de dunne darm plaats. (De overige voedingsstoffen worden voor het grootste deel in de dikke darm opgenomen.) De dunne darm is circa 6 m lang en heeft een diameter die uiteenloopt van 4 cm bij de maag tot circa 2,5 cm bij de verbinding met de dikke darm. De dunne darm bestaat uit drie delen: het duodenum (*twaalfvingerige darm*), het jejunum (*nuchtere darm*) en het ileum (*kronkeldarm*) (figuur 16-10):

1. Het **duodenum** (de twaalfvingerige darm) is 25 cm lang en ligt het dichtst bij de maag. Dit gedeelte van de dunne darm is de 'mengkom'. Het ontvangt chymus uit de maag en verteringssappen vanuit de pancreas en de lever. Vanuit zijn verbinding met de maag buigt het duodenum in de vorm van een C

die de pancreas omsluit. Behalve de proximale eerste 2,5 cm ligt het duodenum achter de buikholte (zie figuur 16-8b). Organen die achter de buikholte liggen, worden **retroperitoneaal** genoemd (*retro*, achter).

2. Een plotselinge buiging markeert de grens tussen het duodenum en het **jejunum** (de nuchtere darm). Op deze plaats komt de dunne darm de buikholte weer binnen, ondersteund door een blad van het mesenterium. Het jejunum is ongeveer 2,5 m lang. Het grootste deel van de chemische vertering en de opname van voedingsstoffen vindt in het jejunum plaats.
3. Het **ileum**, het laatste segment van de dunne darm, is ook het langste deel, met een lengte van gemiddeld 3,5 m. Het ileum eindigt bij de *valva ileocaecalis*, een kringpijp die de doorgang van de darminhoud vanuit het ileum naar de *blindedarm* reguleert; de *blindedarm* is het eerste gedeelte van de dikke darm.

De dunne darm vult het grootste deel van de buikholte. De dunne darm wordt op zijn plaats gehouden door een mesenterium dat aan de dorsale lichaamswand is aangehecht (zie figuur 16-8b). In het bindweefsel van het mesenterium lopen bloedvaten, lymfevaten en zenuwen naar en van de segmenten van de dunne darm.



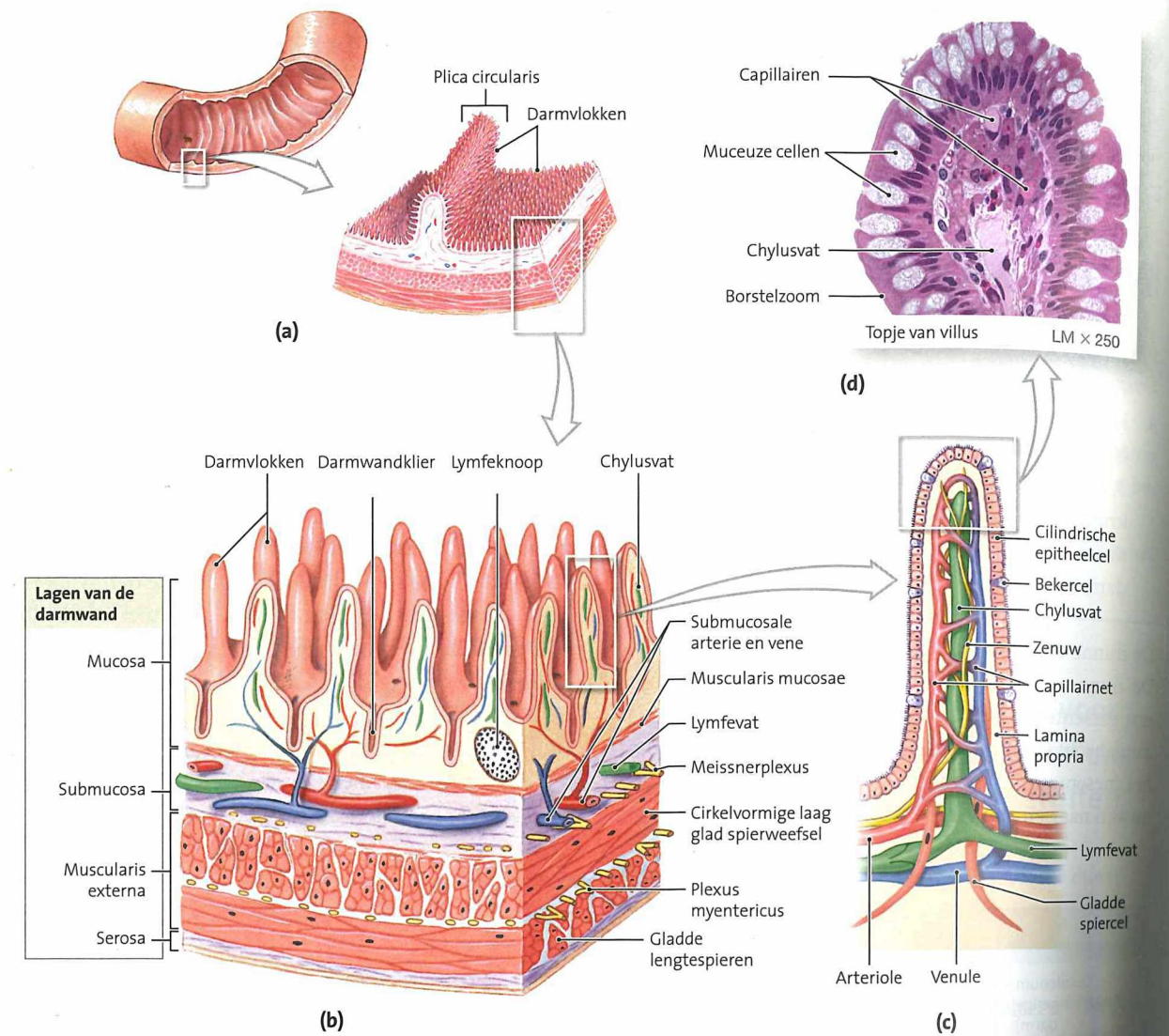
**Figuur 16-10** De onderdelen van de dunne darm

(a) De posities van het duodenum, het jejunum en het ileum in de buik- en bekkenholte. (b) Een typisch stukje lumen van het jejunum.

#### 16.5.1 De darmwand

De bekleding van de darm heeft een aantal transversale plooien die **darmvlooiën** of *plicae circulares* worden genoemd (figuur 16-10). Dit zijn permanente kenmerken die niet verdwijnen bij vulling van de dunne darm. De bekleding van de darm bestaat uit zeer veel vingervormige uitsteeksels, de zogenoemde **darmvlokken** of **villi** (figuur 16-11b). Deze structuren zijn bedekt met een eenlagig cilindrisch epitheel dat met microvilli is bekleed (figuur 16-11c). Omdat de microvilli vanuit het epitheel uitsteken zoals de haren op een borstel, wordt wel gezegd dat deze cellen een *borstelzoom* hebben.

Als de dunne darm een eenvoudige buis was met gladde wanden, zou het opnameoppervlak ongeveer 3.300 cm<sup>2</sup> bedragen. Deze mucosa bevat daarentegen circa achthonderd circulaire plooien. Elke darmvlooi ondersteunt een woud van darmvlokken en elke darmvlooi is bedekt door epitheelcellen die zijn bezet met microvilli. Door deze opbouw wordt het totale oppervlak voor opname tot ongeveer twee miljoen cm<sup>2</sup> vergroot. Elke darmvlooi bevat een netwerk van capillairen die hun oorsprong hebben in de submucosa (figuur 16-11c). Deze haarvaten vervoeren opgenomen voedingsstoffen naar de leverpoortader, zodat ze door de

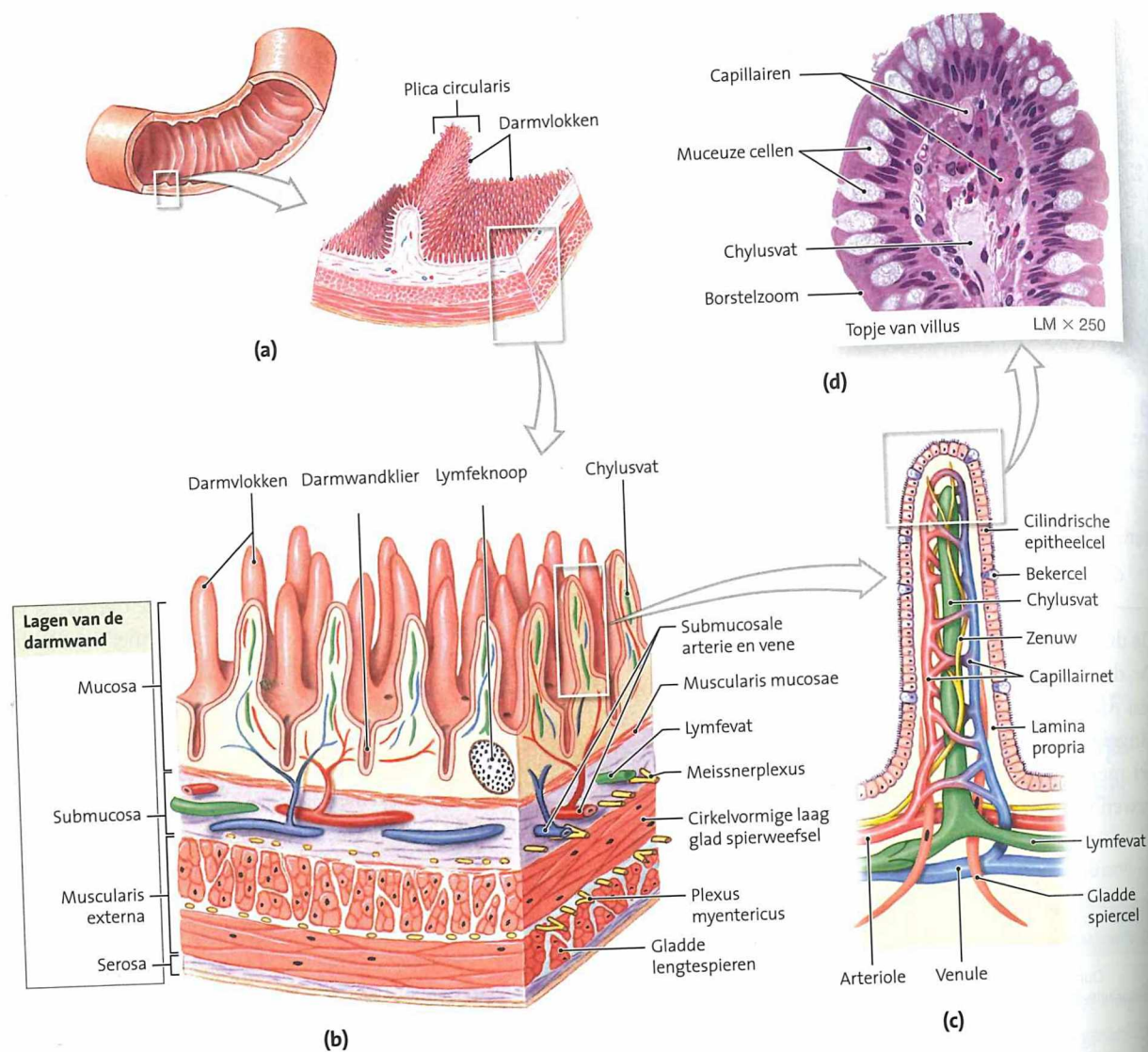


**Figuur 16-11 De darmwand**

(a) Eén enkele darmplou en verscheidene darmvlokken. (b) De structuur van de darmwand. (c) De inwendige structuren van een enkele villus met het capillaire netwerk en het chylusvat. (d) Lengtedoorsnede door een villus.

lever kunnen worden opgenomen (figuur 13-25). Behalve capillairen bevat elke darmvlok zenuwuiteinden en een lymfecapillair, een zogenoemd **chylusvat** (*chylus, sap*). Chylusvaten vervoeren stoffen die de capillairen niet kunnen binnengaan. Opgenomen vetzuren worden bijvoorbeeld verpakt in vet-eiwitpakketjes die te groot zijn om het bloed in te diffunderen. Deze pakketjes, die *chylomicronen* worden genoemd, bereiken de veneuze circulatie via het lymfestelsel. De belangrijkste enzymen die in het darmlumen worden afgegeven, zijn afkomstig van de uitstekende mi-

crovilli van de darmcellen. Enzymen uit de borstelzooam breken stoffen af die met die borstelzooam in contact komen. Vervolgens nemen de epitheelcellen de afbraakproducten op. Als deze cellen worden afgestoten, vallen ze in het lumen uiteen, en geven zowel intracellulaire enzymen als enzymen uit de borstelzooam af. Aan de bases van de darmvlokken bevinden zich uitmondningen van *darmsapklieren* (zie figuur 16-11b). Stamcellen in de bases van de darmsapklieren delen zich voortdurend om afgesleten darmepitheelcellen te vervangen. Andere cellen geven een waterig *darmsap*



**Figuur 16-11** De darmwand

(a) Eén enkele darmplou en verscheidene darmvlokken. (b) De structuur van de darmwand. (c) De inwendige structuren van een enkele villus met het capillaire netwerk en het chylusvat. (d) Lengtedoorsnede door een villus.

lever kunnen worden opgenomen (figuur 13-25). Behalve capillairen bevat elke darmvlok zenuwuiteinden en een lymfecapillair, een zogenaamd **chylusvat** (chylus, sap). Chylusvaten vervoeren stoffen die de capillairen niet kunnen binnengaan. Opgenomen vetzuren worden bijvoorbeeld verpakt in vet-eiwitpakketjes die te groot zijn om het bloed in te diffunderen. Deze pakketjes, die **chylomicronen** worden genoemd, bereiken de veneuze circulatie via het lymfestelsel. De belangrijkste enzymen die in het darmlumen worden afgegeven, zijn afkomstig van de uitstekende mi-

crovilli van de darmcellen. Enzymen uit de borstelzoom breken stoffen af die met die borstelzoom in contact komen. Vervolgens nemen de epitheelcellen de afbraakproducten op. Als deze cellen worden afgestoten, vallen ze in het lumen uiteen, en geven zowel intracellulaire enzymen als enzymen uit de borstelzoom af. Aan de bases van de darmvlokken bevinden zich uitmondningen van **darmsapklieren** (zie figuur 16-11b). Stamcellen in de bases van de darmsapklieren delen zich voortdurend om afgesloten darmepitheelcellen te vervangen. Andere cellen geven een waterig **darmsap**

af. Behalve de darmsapklieren bevat het duodenum grote **submucosale klieren** die een basisch slijm afgeven waardoor de zuren in de chymus worden geneutraliseerd. Ook bevatten de darmsapklieren endocriene cellen die hormonen van het spijsverteringskanaal vormen die verderop in dit hoofdstuk zullen worden besproken.

### 16.5.2 Darmbewegingen

Nadat de chymus het duodenum is binnengekomen, wordt die door zwakke peristaltische golven langzaam richting jejunum bewogen. Deze contracties zijn plaatselijke reflexen die niet door het CZS worden gereguleerd. Ze zijn beperkt tot een gebied van enkele centimeters rondom de plaats van de oorspronkelijke prikkel.

Ingewikkelde reflexen coördineren de activiteiten over de gehele lengte van de dunne darm. Uittrekking van de maag leidt tot de **gastro-intestinale reflex**. Door deze reflex worden de klierafscheiding en de peristaltische activiteit in alle delen van het darmkanaal onmiddellijk versneld. Door de toegenomen peristaltiek wordt de darminhoud in de lengterichting van de dunne darm verplaatst en wordt het duodenum gelegegd. De **gastro-ileale reflex** is een reactie op een stijging van de concentratie van het hormoon gastrine in het bloed. Wanneer voedsel in de maag binnenkomt, wordt de afgifte van gastrine geactiveerd. Daardoor ontspant de valva ileo-caecalis aan het begin van de dikke darm. Wanneer de kringspier ontspannen is, wordt de darminhoud door de peristaltiek vanuit het ileum naar de dikke darm gestuwd. Gemiddeld duurt het ongeveer vijf uur voordat voedsel vanuit het duodenum tot het einde van het ileum is gepasseerd. Het eerste deel van de darminhoud dat het duodenum na het ontbijt binnenkomt, verlaat de dunne darm tijdens de lunch.

### 16.5.3 Darmsap

Dagelijks wordt ongeveer 1,8 liter waterig **darmsap** in de darmholte afgegeven. Een groot deel van deze vloeistof komt in de darm terecht via osmose (doordat water uit de mucosa stroomt); het overige deel wordt door darmsapklieren afgegeven die door activering via aantasting en door receptoren in de darmwanden worden geprikkeld. Darmsap bevochtigt de darminhoud, neutraliseert zuren en zorgt dat de verteringsenzymen en de verteringsproducten in oplossing blijven.

Hormonen en het CZS spelen een belangrijke rol bij het reguleren van de afgifte van klierproducten door het spijsverteringskanaal en de **accessoire organen**. Doordat het duodenum het eerste deel van de darmen is waar de maaginhoud binnenkomt, zijn deze regelmechanismen vooral op dit gedeelte van invloed. Hier moet de zure maaginhoud worden geneutraliseerd en moeten de juiste enzymen worden toegevoegd. De klieren van het duodenum beschermen het dekweefsel ter plaatse tegen maagzuur en tegen enzymen. In reactie op plaatselijke reflexen en op parasympathische impulsen die door de n. vagus worden voortgeleid, geven ze meer klierproduct af. Als gevolg van parasympathische prikkeling beginnen de klieren in het duodenum sappen af te geven tijdens de cefalische fase van de maagsapafscheiding, lang voordat de maaginhoud de kringspier van de pylorus heeft bereikt.

### KLINISCHE AANTEKENING

#### Braken

De **braakreflex** is een chemische of mechanische reactie op irritatie van het zachte gehemelte, de farynx, de oesophagus, de gaster of proximale delen van de dunne darm. De gewaarwording van irritatie wordt doorgegeven aan het braakcentrum in de medulla oblongata dat de motorische reacties coördineert. In voorbereiding daarop ontspant de pylorusfincter zich en de inhoud van het duodenum en het proximale deel van het jejunum wordt naar de maag gestuwd door sterke peristaltische golven die zich naar de maag verplaatsen in plaats van in de richting van het ileum. Braken of **emesis** vindt vervolgens plaats wanneer de maag zijn inhoud door de oesophagus en de farynx naar buiten stuwt. Terwijl dit gebeurt, wordt de toegang tot de neus door de huig en het zachte gehemelte geblokkeerd. Het maagzuur wordt geneutraliseerd door de toegenomen speekselafscheiding, waardoor beschadiging van het gebit wordt voorkomen. Een dergelijke beschadiging is een symptoom van de eetstoornis boulimia, waarbij sommige mensen zichzelf dwingen te braken om gewicht te verliezen.