

12.1 Inleiding

Elk organisme heeft energie nodig om in leven te blijven. Dat geldt ook voor elke cel van het organisme. De energie is nodig voor chemische processen. Het kan daarbij gaan om afbraak en opbouw van stoffen, maar ook om transport, prikkelgeleiding en spiercontractie. Deze chemische processen heten stofwisseling of metabolisme.

12.1.1 Energie, katabolisme en anabolisme

Mensen zijn, net als dieren, niet in staat om rechtstreeks zonne-energie te absorberen zoals planten dat doen. We zijn afhankelijk van energie die door planten in chemische verbindingen is vastgelegd. Door afbraak van deze stoffen, vaak met behulp van zuurstof, wordt de energie in een wel direct bruikbare vorm gebracht: ATP.

Het afbreken van stoffen heet *katabolisme*. *Anabolisme* is het opbouwen van stoffen waarbij ook energie wordt vastgelegd.

12.1.2 Voeding

Voeding levert stoffen om lichaamscellen op te bouwen en om energie uit vrij te maken. Voeding bevat dezelfde soort stoffen als het lichaam:

- macronutriënten, waarvan je veel per dag nodig hebt, zoals koolhydraten, vetten en eiwitten;
- micronutriënten, waarvan je minder dan 1 g/dag nodig hebt, zoals mineralen, vitamines en sporenelementen.

De voedingsstoffen worden via het maag-darmkanaal in het bloed opgenomen.

12.2 Spijvertering

12.2.1 Het spijsverteringskanaal

Het spijsverteringskanaal of maag-darmkanaal is op te vatten als een lange buis waar het voedsel doorheen gaat. De buis heeft in de buik twee zijtakken. De rechterzijtak komt van de lever en galblaas, de linkerzijtak komt van de alvleesklier (pancreas).

De hoofdbuis bestaat achtereenvolgens uit (fig. 12.1):

- mondholte en keelholte;
- slokdarm (oesofagus);
- maag (gaster; ventriculus);
- dunne darm, bestaande uit drie delen: twaalfvingerige darm (duodenum), jejunum en ileum;
- dikke darm (colon); aan het eerste deel (caecum) hangt het wormvormig aanhangsel of appendix; het einde is S-vormig en heet sigmoïd;
- endeldarm (rectum); deze wordt afgesloten met een sluitspier (sfincter ani).

In het spijsverteringsstelsel vinden onder meer de volgende processen plaats:

- secretie van slijm en spijsverteringssappen;
- peristaltiek;
- vertering van voedingsstoffen door spijsverteringsenzymen;
- resorptie van voedingsstoffen, inclusief water en zouten;
- hormoonproductie;
- uitscheiding van restproducten.

Wand

We bespreken hier alleen de darmwand. Deze bevat een slijmvlieslaag die een groot oppervlak heeft door grote plooien, vlokken (villi of plooitjes in het oppervlak van de grote plooien) en microvilli (uitstulpingen van de darmcelmembranen) (fig. 12.2).

Daaronder liggen een circulaire spierlaag en een laag met spieren in de lengterichting. De buitenste laag bestaat uit bindweefsel en het binnenste blad van het buikvlies (peritoneum).

Op enkele plaatsen in het maag-darmkanaal zijn er sluitspieren, zoals de pylorus aan het einde van de maag, en de sfincter ani. Bloedvaten en zenuwvezels van het vegetatieve zenuwstelsel bereiken de darm via een bindweefselvlies dat de darmen verbindt (mesenterium).

De darm wordt geïnnerveerd door zowel sympathische als parasympathische vezels. Parasympathische prikkeling bevordert de darmactiviteit (secretie, peristaltiek), sympathische prikkeling remt de darmactiviteit.

12.2.2 Mond, keelholte en slokdarm

Mond en speeksel

In de mond wordt voedsel door kauwen kleiner gemaakt en vermengd. Speeksel uit drie paar speekselklieren (oor-, onderkaak- en ondertongspeekselklieren) maakt het voedsel vochtiger en gladder. Speeksel bevat behalve slijm en water ook amylase en HCO_3^- . Bij een hoge pH, door HCO_3^- , in de mond kan amylase beginnen met het verteren van zetmeel (keten van glucose). Ook zetmeelresten in de mond worden door amylase verteerd. Zo draagt speeksel bij aan het schoonhouden van de mond. Daarnaast maakt speeksel het spreken gemakkelijker.

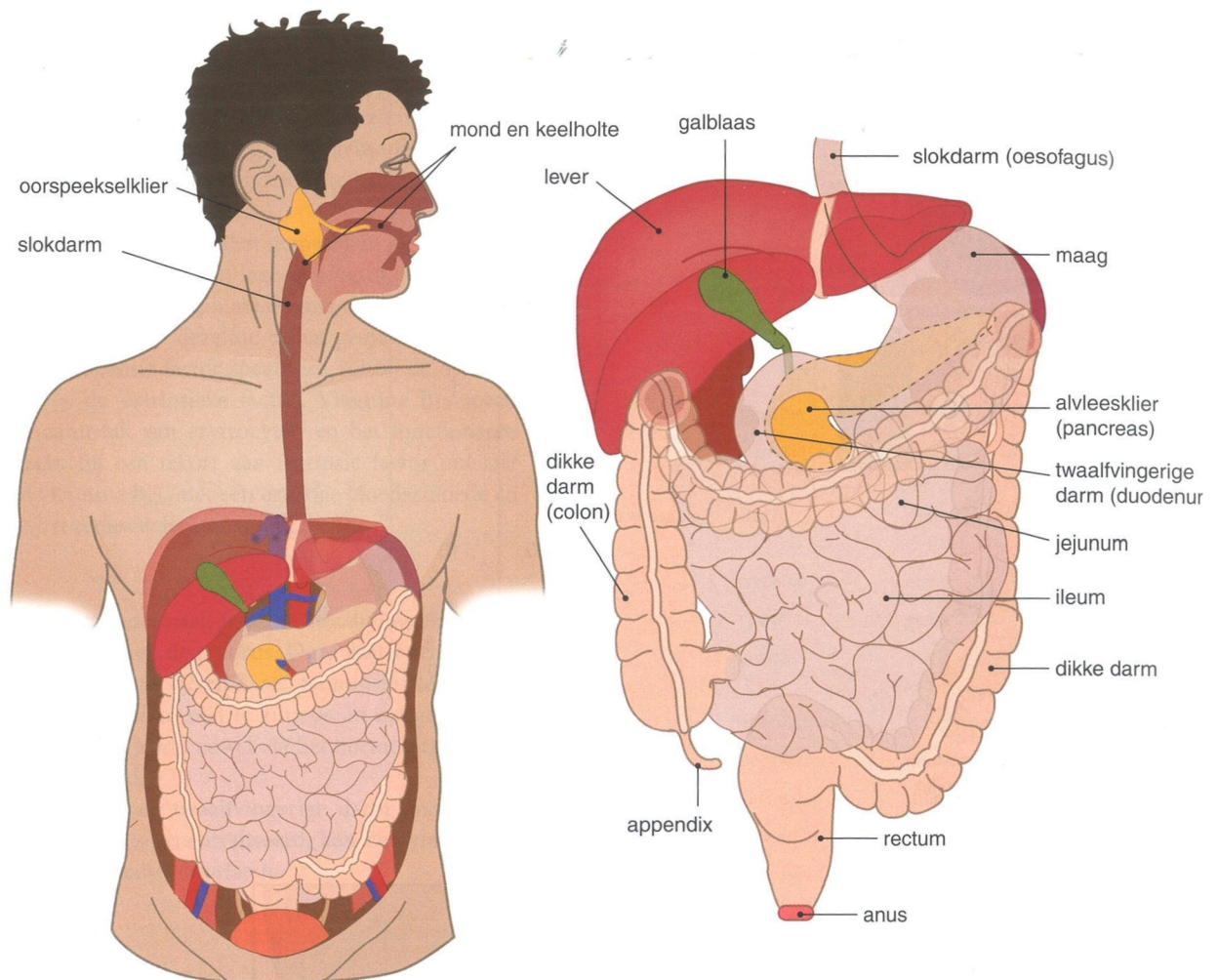
Speekselsecretie

Speeksel wordt afgescheiden na parasympathische prikkeling van de speekselklieren. Als je voedsel ziet, ruikt of eraan denkt, wordt speeksel afgescheiden, mede door geconditioneerde reflexen. Sympathische prikkeling daarentegen, zoals bij stress, remt de speekselsecretie en leidt zo tot een droge mond.

Slikken

Bij het slikken zijn zowel mond als keelholte (farynx) en slokdarm (oesofagus) betrokken. Slikken verloopt in fasen. We bespreken een indeling in vier fasen (fig. 12.3):

1. voorbereidende fase;
2. orale fase;
3. faryngeale fase;
4. oesofageale fase.



■ **Figuur 12.1** Spijsverteringsstelsel

De voorbereidende fase en de orale fase verlopen willekeurig. De laatste twee fasen verlopen reflectoir. De reflex wordt aan het einde van de orale fase in gang gezet.

Vorbereidende fase. In deze fase wordt een hap voedsel of een slok drinken genomen. Er wordt 'afgehapt' van een vork, lepel, fruit, koek, pizza enzovoort. Door kauwen worden er kleinere stukken van gemaakt en het voedsel wordt gemengd met speeksel. De hap voedsel wordt nu ook wel bolus genoemd.

Orale fase. In deze fase wordt de bolus getransporteerd naar de mond-keelholte (farynx). De tong rolt van voor naar achteren tegen het harde verhemelte en duwt zo de bolus naar achteren. Wanneer voedsel in contact komt met de achterwand, treedt de slikreflex op.

Faryngeale fase. Deze fase verloopt reflectoir. De bolus wordt verplaatst vanuit de mond-keelholte naar de slokdarm. Daarbij gebeurt het volgende.

- Het zachte verhemelte met de huid wordt naar boven getrokken; zo wordt de weg naar de neusholte afgesloten.
- Het strottenhoofd wordt omhooggetrokken naar het strotklepje. Het strotklepje kantelt en de bolus wordt over het strotklepje de slokdarm in geduwd.

- Tegelijkertijd worden de stembanden tegen elkaar getrokken en wordt de doorgang door de luchtweg afgesloten. De ademhaling stopt kortdurend.

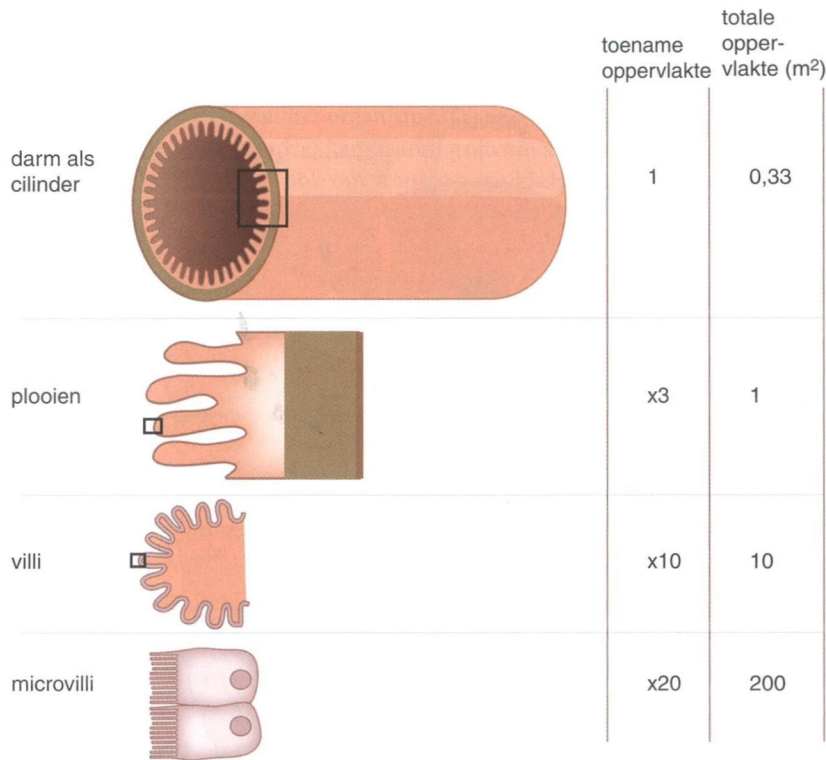
Oesofageale fase. Ook deze fase verloopt reflectoir. De bovenste sluitspier van de slokdarm ontspant zich als de bolus uit de mond-keelholte over het strotklepje wordt getransporteerd. De bolus glijdt zo de slokdarm in. Peristaltiek brengt de bolus verder door de slokdarm, tot voorbij de onderste sluitspier van de slokdarm, tot in de maag.

12.2.3 Maag

In de maag wordt het voedsel enige tijd opgeslagen en intens vermengd met maagsap. In de maag wordt geen voedsel geresorbeerd.

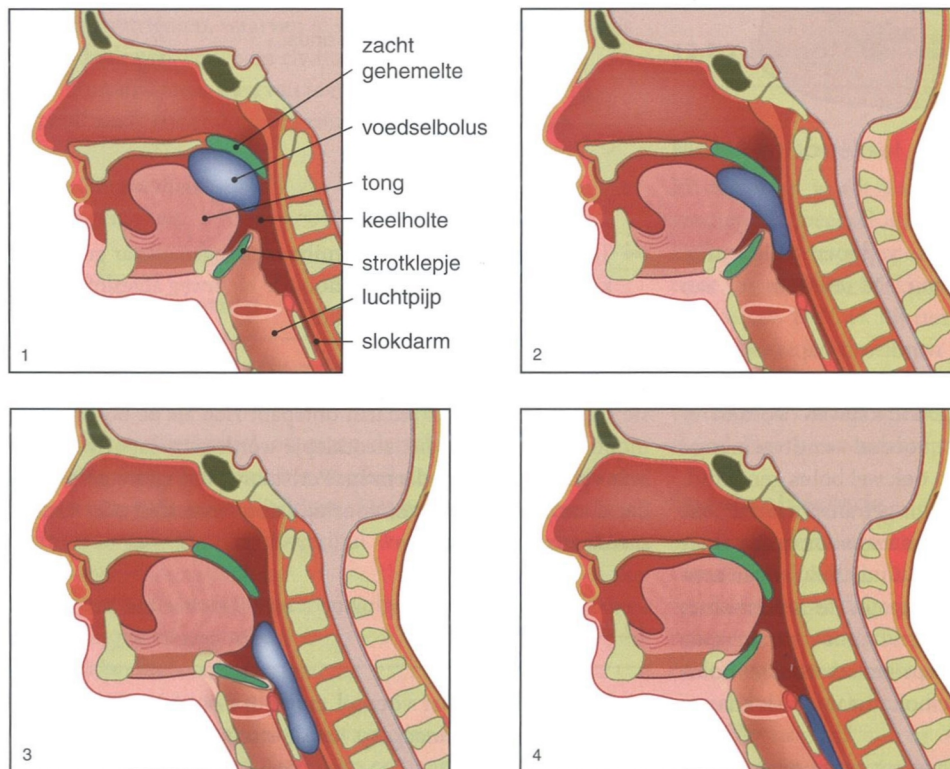
Maagsap

Maagsap wordt geproduceerd in het onderste deel van de maag. Zowel langs hormonale weg, via het hormoon gastrine, als via het parasymphatische systeem (n. vagus) wordt de maag



■ Figuur 12.2 Darmoppervlak

12



■ Figuur 12.3 Slikproces

geprikkeld om maagzuur af te scheiden. Het hormoon gastrine komt uit de maagwand vrij als de maag wordt gerekt. Als de pH lager wordt dan 2,5, wordt de afgifte van gastrine geremd.

Maagsap bevat, behalve water en slijm, zoutzuur, het eiwit-splitsende enzym pepsine en een glycoproteïne dat *intrinsic factor* wordt genoemd. Zoutzuur heeft een bacteriedodende werking en activeert pepsine.

Pepsine wordt in maagklieren gemaakt in de vorm van het inactieve pepsinogeen. Bij een lage pH wordt pepsinogeen omgezet in pepsine, dat een begin maakt met de eiwitvertering.

Intrinsic factor wordt in dezelfde cellen gemaakt die zoutzuur produceren. Intrinsic factor speelt een rol bij de opname van vitamine B₁₂, de 'extrinsieke factor'. Vitamine B₁₂ speelt een rol bij de aanmaak van erythrocyten en het functioneren van zenuwvezels. Bij een tekort aan intrinsic factor ontstaat een tekort aan vitamine B₁₂, met een ernstige bloedarmoede en stoornissen in het zenuwstelsel tot gevolg.

Pylorus

Rond de overgang van de maag naar de twaalfvingerige darm bevindt zich een sluitspier, de pylorus. Deze gaat open als een peristaltiegolf de pylorus bereikt, als tenminste de inhoud van de twaalfvingerige darm niet te zuur is. In dat geval blijft de pylorus gesloten. Dit wordt zowel via het hormoonstelsel als het zenuwstelsel geregeld.

Als de inhoud van de twaalfvingerige darm door bicarbonaat uit de pancreas is geneutraliseerd, kan de pylorus zich openen en een partij voedsel doorlaten.

12.2.4 Dunne darm

Twaalfvingerige darm

Wanneer zure voedselbrij in de twaalfvingerige darm is aangekomen, worden er zowel vanuit de lever en galblaas als vanuit de pancreas sappen aan de darminhoud toegevoegd die het voedsel verder verteren (▣fig. 12.1).

Pancreassap

Pancreassap bevat enzymen om de drie macronutriënten te splitsen:

- ▣ lipase dat vet splitst in glycerol en vetzuren;
- ▣ amylase dat zetmeel splitst in kleinere ketens van koolhydraten;
- ▣ trypsine dat eiwitten splitst in kleinere ketens van aminozuren.

De pancreas scheidt zijn sap af onder invloed van hormonen uit de darm: secretine en cholecystokinine. Deze hormonen worden afgegeven in de twaalfvingerige darm bij een pH onder de 4,0.

Cholecystokinine zorgt daarnaast voor het samentrekken van de galblaas en zo tot het aanvoeren van gal naar de twaalfvingerige darm (▣tab. 12.1).

▣ Tabel 12.1 Spijsverteringsenzymen en hun functie

| | bestanddeel | functie |
|-------------|-------------------------------|--|
| speeksel | water | oplossen van smaakstoffen |
| | slijm | gladmaken spijsbrok |
| | amylase | koolhydraatsplitsend enzym |
| maagsap | slijm | bescherming van de maagwand |
| | zoutzuur | werkt bacteriedodend, activeert pepsine |
| | pepsine | eiwitsplitsend enzym |
| pancreassap | intrinsic factor | nodig voor de resorptie van vitamine B ₁₂ |
| | HCO ₃ ⁻ | neutraliseert de zure chymus |
| | trypsine | eiwitsplitsend enzym |
| | lipase | vetsplitsend enzym |
| | amylase | koolhydraatsplitsend enzym |
| | darmsap | enterokinase |
| | peptidasen | peptidesplitsende enzymen |
| | sucrase | splitst sucrose |
| | lactase | splitst lactose |
| | maltase | splitst maltose |

Gal

Gal wordt door de lever uitgescheiden en in de galblaas ingedikt. Uiteindelijk komt de gal, rechtstreeks of na opslag in de galblaas, in het duodenum bij de voedselbrij.

Gal bevat water, cholesterol en fosfolipiden, galzure zouten en bilirubine. Galzouten hebben een emulgerende werking op vetten: ze verdelen de vetten in kleinere vetbolletjes. Zo kan lipase gemakkelijker het vet splitsen. Galzouten maken het resorberen van glycerol en vetzuren in de darm mogelijk. De galzouten blijven zelf in de darm achter en worden verderop, in het ileum, deels geresorbeerd.

Dunne darm

De dunne darm (duodenum, jejunum en ileum) produceert darmsap met enzymen voor de laatste stappen van de vertering van koolhydraten en eiwitten.

Vertering

Disachariden worden gesplitst tot monosachariden (enkelvoudige suikers zoals glucose, fructose en galactose):

- ▣ maltase splitst maltose in twee glucosemoleculen;
- ▣ lactase splitst lactose in glucose en galactose;
- ▣ sacharase splitst sacharose in glucose en fructose (bietsuiker of rietsuiker).

Peptidasen splitsen eiwitten in aminozuren.

Lipase splitst vet in glycerol en vetzuren (▣tab. 12.1)

Resorptie

De resorptie van de voedingsbestanddelen vindt plaats in de dunne darm, voor het grootste deel al in het duodenum en het jejunum; deels passief door diffusie, deels actief (► par. 2.3.4).

Water wordt door osmose geresorbeerd. In de dunne darm passeert per 24 uur ongeveer 9 L water. Daarvan is maar 1½ tot 2 L afkomstig uit voeding en drinken. De rest wordt door de spijsverteringsorganen toegevoegd:

- 1 L speeksel;
- 2 L maagsap;
- 2 L pancreassap;
- 1 L gal;
- 1 L darmsap.

In de dunne darm wordt van deze 7 L ongeveer 5½ L geresorbeerd.

12.2.5 Dikke darm

In de dikke darm (colon) vindt *resorptie* plaats van water en zouten. Van de 1½ L water die de voedselbrij bevat in het colon, wordt nog zo'n 1.300 mL geresorbeerd. De resterende darminhoud (feces) wordt in de dikke darm opgeslagen totdat defecatie plaatsvindt. In de dikke darm zitten veel bacteriën, samen ook wel darmflora genoemd. Een deel daarvan is betrokken bij de *productie van vitamines*: vitamine K (nodig voor de aanmaak van stollingsfactoren in de lever) en vitamines uit de B-groep. Andere bacteriën zorgen voor de afbraak van stoffen die wij zelf niet kunnen verteren, zoals plantaardige vezels.

Het colon heeft een trage *peristaltiek*. Twee tot drie keer per dag wordt de inhoud door de peristaltiek verder getransporteerd. Dat gebeurt vooral na een maaltijd door de gastrocolische reflex. Wanneer feces in het rectum komt treedt, door prikkeling van reksensoren, de defecatiereflex op.

Defecatie

De defecatiereflex leidt tot ontspanning van de interne anale sfincter. De ontlasting kan dan alleen nog worden opgehouden door willekeurig aanspannen van de externe anale sfincter (uitwendige sluitspier). Wanneer de externe anale sfincter niet wordt aangespannen, treedt ten gevolge van de reflex defecatie op. Dat gebeurt ook bij mensen die door een dwarslaesie de uitwendige sluitspier niet kunnen aanspannen. Zij zijn daarvoor incontinent voor ontlasting.

12.3 Lever en pancreas

12.3.1 Lever

De lever speelt een belangrijke rol bij de stofwisseling van koolhydraten, vetten en eiwitten. Bestanddelen hiervan uit de voeding worden in de dunne darm opgenomen. Ze bereiken via de poortader de lever. Zo kan de lever als eerste orgaan gebruikmaken van de opgenomen stoffen.

Vetstofwisseling

De lever maakt *cholesterol*. Deze cholesterol vormt samen met cholesterol uit de voeding de grondstof voor de hormoongroep steroïden. Cholesterol is bovendien een belangrijk onderdeel van de celmembraan. Cholesterol die in de lever is gemaakt, wordt daar verpakt in lipoproteïnecomplexen en aan het bloed afgegeven. Lipoproteïnen worden onderscheiden op grond van hun dichtheid. Hoe meer lipiden ze bevatten, des te lager de dichtheid. *Low-density lipoproteins* (LDL) bevatten dus meer lipiden dan *high-density lipoproteins* (HDL) (► kader 12.1). Ook de darm maakt na resorptie van vetbestanddelen lipoproteïnecomplexen.

De lipidenconcentratie in het bloed is daardoor mede afhankelijk van het tijdstip op de dag ten opzichte van de laatste maaltijd.

Kader 12.1 Cholesterol en hart- en vaatziekten

Cholesterol wordt in het bloed getransporteerd in de vorm van lipoproteïnen VLDL, LDL en HDL. Ze bevatten naast eiwit meer of minder cholesterol, triglyceriden en fosfolipiden. Op grond van hun dichtheid worden ze onderscheiden in *very low density lipoprotein* (VLDL), *low-density lipoprotein* (LDL) en *high-density lipoprotein* (HDL). In afnemende grootte: chylomicronen, VLDL, LDL, HDL (■ fig. 12.4).

Cholesterol

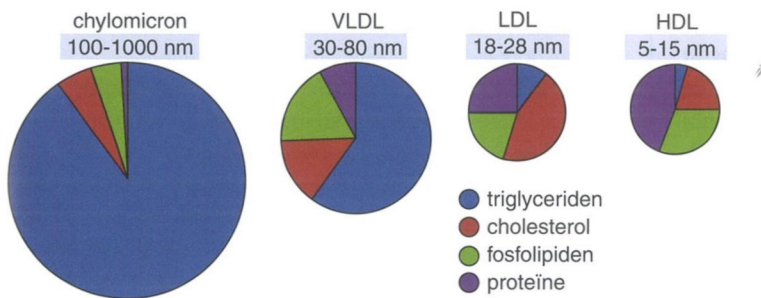
Cholesterol zit in de voeding en wordt daarnaast door de lever gemaakt. ■ Figuur 12.5 laat de omzetting en het transport van vetten in het bloed zien. De lever geeft de cholesterol samen met triglyceriden af aan het bloed in de vorm van een VLDL. Lipoproteïnelypase in lever- en vetcelmembranen maakt triglyceriden vrij uit de VLDL-deeltjes, waardoor een LDL-deeltje overblijft, met een hoger percentage cholesterol. De meeste LDL wordt uiteindelijk opgenomen door levercellen. Wat overblijft in de bloedbaan wordt opgenomen door macrofagen in de vaatwand. Zo hoopt cholesterol zich op in de vaatwand. Een hoog LDL-gehalte in het bloed hangt samen met een verhoogd risico op het ontstaan van atherosclerotische plaques en daarmee op hart- en vaatziekten. Dat heeft LDL de naam 'slecht cholesterol' bezorgd.

HDL wordt in de lever gemaakt en aan de bloedbaan afgegeven. Het neemt cholesterol op uit cellen. In de lever wordt de cholesterol vervolgens uit de HDL verwijderd. HDL bevat veel eiwit en minder cholesterol en triglyceriden dan LDL. Omdat een hoog HDL-gehalte in het bloed de kans op hart- en vaatziekten verkleint, heeft HDL de naam 'goed cholesterol' gekregen.

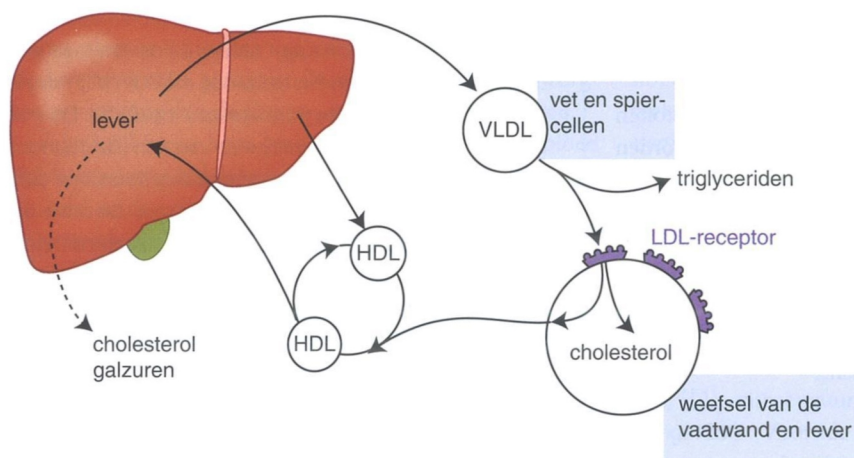
De lever kan cholesterol in de gal uitscheiden, waarna het via de darm uit het lichaam verwijderd kan worden.

Cholesterol en atherosclerose

Risicofactoren zoals hypertensie, roken, overgewicht, een hoog cholesterolgehalte in het bloed (of een ongunstige verhouding tussen LDL en HDL) en een hogere leeftijd maken endotheel meer doorlaatbaar voor allerlei



■ **Figuur 12.4** Soorten vetten in het bloed



■ **Figuur 12.5** Omzetting en transport van bloedvetten

stoffen, waaronder LDL en leukocyten. De macrofagen in de vaatwand fagocyteren de LDL. Gevuld met vet zien de macrofagen eruit als schuim en heten daarom 'schuimcellen'. Ze sterven af en de lipiden blijven onder de endotheellaag liggen. Deze vetlaag vormt een *plaque*. Er treedt een ontstekingsreactie op en bindweefsel groeit in en om de plaque. Ook vindt kalkafzetting plaats in de plaque. De atherosclerotische plaque breidt zich uit onder het endotheel van de slagader en kan het endotheel naar binnen duwen. Daardoor kan er een vernauwing optreden, waardoor de bloedstroom kan afnemen. Trombocyten die in contact komen met de plaque, kunnen gemakkelijk samenklonteren. Er kan dan een trombus ontstaan in de slagader, die de slagader verder kan vernauwen of afsluiten. Daardoor kan een acuut hartinfarct of herseninfarct ontstaan.

Eiwitstofwisseling

De lever maakt de plasma-eiwitten albumine, stollingsfactoren en een deel van de globulinen.

De lever kan de aminogroep van aminozuren verwijderen en nieuwe aminozuren maken, althans niet-essentiële aminozuren. Niet-essentiële aminozuren heten zo omdat ze niet per se via de voeding moeten worden ingenomen. Het lichaam kan ze namelijk ook zelf maken. Voor essentiële aminozuren is dat anders; die heten essentieel omdat het lichaam ze juist niet zelf kan maken.

De lever zet de verwijderde aminogroep om in ureum dat door de nieren wordt uitgescheiden.

Koolhydraatstofwisseling

De rol van de lever bij de regulatie van de glucosespiegel in het bloed wordt besproken bij de alveesklierfuncties.

Gal

De lever produceert per dag ongeveer 1 L gal en scheidt die uit naar de galgangen. De gal wordt opgeslagen en ingedikt in de galblaas. Tijdens een maaltijd trekt de galblaas enkele keren samen, waardoor gal naar de twaalfvingerige darm wordt gestuwd.

Gal bestaat uit galzouten, cholesterol, water en zouten en bilirubine. Door indikking van de gal of een veranderde samenstelling (veranderde verhouding tussen de bestanddelen) kan cholesterol neerslaan in de vorm van kristallen en kunnen er zo stenen ontstaan. Wanneer een steen klem zit in een afvoerbuis, ontstaat een acute aanval van heftige buikpijn (koliek). Wanneer de afvoer van gal uit de lever naar de darm is geblokkeerd, ontstaat door ophoping van bilirubine in de weefsels een gele kleur: geelzucht (icterus).

Ontgiftig

De lever heeft een functie bij het afbreken van giftige stoffen die uit de darm via de poortader de lever bereiken. Ze worden door de lever geleidelijk uit de circulatie gehaald.

Voorbeelden zijn alcohol en geneesmiddelen. Die zijn daardoor maar een beperkte duur werkzaam. Ook bilirubine, een gele kleurstof afkomstig van de afbraak van hemoglobine, wordt door de lever onschadelijk gemaakt. Dat doet de lever door bilirubine te binden aan glucuronzuur, waardoor de bilirubine in de gal kan worden uitgescheiden.

12.3.2 Alvleesklier

De alvleesklier (pancreas) is een klier die zowel producten uitscheidt naar de darm (pancreassap met spijsverteringsenzymen; exocriene functie) als naar het bloed (glucoseregulerende hormonen; endocriene functie). De spijsverteringsenzymen zijn eerder besproken (► par. 12.2.4). Hier bespreken we de rol van pancreashormonen bij de glucoseregulatie. Daarin speelt de lever als opslagorgaan voor glucose in de vorm van glycogeen ook een rol.

Belang van normaalwaarden van glucoseconcentratie

De *glucoseconcentratie in het bloed* wordt tussen de 4 en 7 mmol/L gehouden. De nuchtere waarde is ongeveer 4,5 mmol/L. Tijdens en vlak na de maaltijd is de concentratie hoger, bijvoorbeeld 6 mmol/L. Het constant houden van de glucoseconcentratie is van belang voor hersenweefsel en erythrocyten. Voor de energievoorziening is hersenweefsel grotendeels afhankelijk van glucose, erythrocyten zijn helemaal afhankelijk van glucose. Verschijnselen bij een te hoge en lage glucoseconcentratie in het bloed zoals kunnen optreden bij mensen met diabetes staan in ► kader 12.2.

Kader 12.2 Diabetes, hypo- en hyperglykemie

Een tekort aan insuline leidt tot diabetes mellitus (suikerziekte). Het kan gaan om een absoluut tekort aan insuline (diabetes type 1) of een relatief tekort (diabetes type 2). Bij diabetes type 2 geven de eilandjes van Langerhans in de alvleesklier te weinig insuline af of bestaat er insulineresistentie. *Insulineresistentie* houdt in dat de lichaamscellen minder gevoelig zijn voor insuline. Dat komt vooral voor bij mensen met overgewicht. Diabetes type 2 heette ook wel ouderdomsdiabetes omdat deze vorm van diabetes vooral bij ouderen voorkomt. Doordat het aantal kinderen en jongvolwassenen met overgewicht toeneemt, komt diabetes type 2 tegenwoordig ook steeds meer voor bij jonge mensen. De naam ouderdomsdiabetes dekt de lading dus niet meer.

Door het insulinetekort stijgt tijdens en na een maaltijd de glucoseconcentratie in het bloed meer en blijft deze langer hoog dan bij een normale insulineafgifte. Dit noemt men *hyperglykemie*. Verschijnselen van een (langdurige) hyperglykemie zijn sufheid, veel plassen, dorst, veel drinken, droge huid en slijmvlies, gewichtsverlies. De urine bevat glucose (glucosurie) en vaak ook ketonen (ketonurie). Na vaststelling van de hoge glucoseconcentratie bestaat de behandeling uit toedienen van extra vocht en bloedsuikerverlagende medicatie. In acute, ernstige situaties is dat insuline.

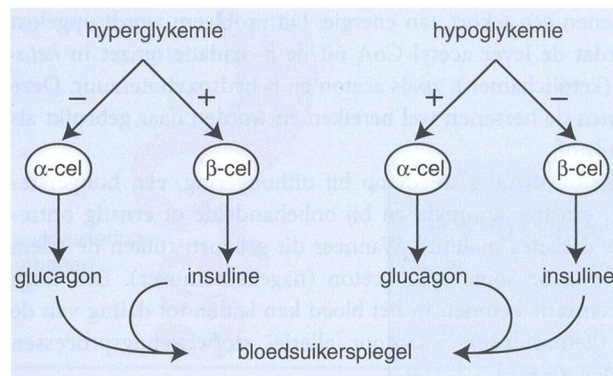
Wanneer mensen met diabetes bloedsuikerverlagende geneesmiddelen gebruiken zoals insuline of bloedsuikerverlagende tabletten (orale antidiabetica), kan de glucoseconcentratie in het bloed te laag worden: *hypoglykemie*. Een hypoglykemie kan zich snel ontwikkelen. Verschijnselen van een hypoglykemie zijn sufheid, geeuwen, een hongergevoel, trillen, ongecoördineerd spreken en lopen. Na vaststelling van de lage glucoseconcentratie bestaat de behandeling uit toedienen van glucose (druivensuiker, snoep of frisdrank) om de glucoseconcentratie snel te verhogen, gevolgd door een snee brood (liefst bruinbrood) om de glucoseconcentratie op peil te houden. Het is gevaarlijk iemand die erg suf of bewusteloos is, suiker te laten innemen (verslikrisico). Dan wordt glucagon per injectie toegediend.

Regelen van de glucoseconcentratie

Wanneer de glucoseconcentratie in het bloed tijdens en na een maaltijd stijgt, scheiden de β -cellen in de eilandjes van Langerhans in de alvleesklier insuline af naar het bloed. Insuline bevordert de opname van glucose in cellen. Daardoor wordt de stijging van de glucoseconcentratie in het bloed beperkt. Cellen die de glucose opnemen kunnen die verbranden of, zoals de lever- en spiercellen, weer koppelen en opslaan in de vorm van glycogeen: *glycogenese*.

Tussen de maaltijden en tijdens vasten gebeurt het omgekeerde. Wanneer de glucoseconcentratie daalt, geven de α -cellen in de alvleesklier het hormoon *glucagon* af. Glucagon zet de lever aan om uit zijn glycogeenopslag glucose vrij te maken en af te geven aan het bloed. Bovendien bevordert glucagon het

12.4 · Vrijmaken van energie



■ **Figuur 12.6** Glucoseregulatie

maken van glucose uit lactaat, glycerol en aminozuren, wanneer de levervoorraad glycogeen is uitgeput. Glucagon zorgt dus voor een stijging van de glucoseconcentratie in het bloed.

Samengevat: bij een hoge glucoseconcentratie in het bloed (hyperglykemie) wordt de afgifte van insuline bevorderd, waardoor glucose in de cellen wordt opgenomen. Bij een lage glucoseconcentratie in het bloed (hypoglykemie) wordt de afgifte van glucagon bevorderd, waardoor glucose vrijkomt uit de cellen (■ fig. 12.6).

Naast insuline en glucagon zijn er andere hormonen die invloed hebben op de glucoseconcentratie. Ze verhogen de bloedsuikerspiegel. Hiertoehoren adrenaline en cortisol (■ tab. 3.2 en 3.3).