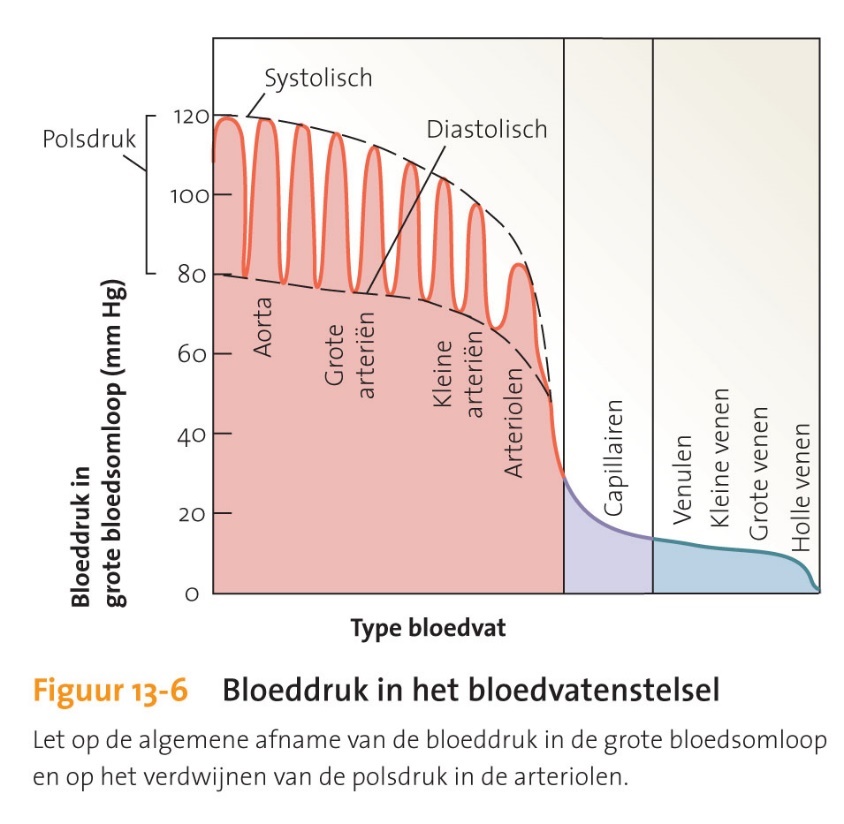
**Vochttransport in weefsels**

Door: Sander Ewen & Freek Weidema

Het bloed wordt rondgepompt door het hart. Zoals je weet loopt het bloed door de arteriën naar de verschillende lichaamsdelen, waar de arteriën zich achtereenvolgens vertakken in kleinere arteriën, arteriolen en uiteindelijk in capillairen. Het voordeel van deze vertakkingen is dat het bloed verdeeld wordt over een groter weefselvolume, waarbij de grote oppervlakte van het endotheel (wand van de capillair) voor een optimale uitwisseling van stoffen tussen het bloed de weefselvloeistof zorgt. Bij dit model ga je kijken naar het transport van vocht uit het bloed naar de weefsels (filtratie) en het transport weer terug (absorptie).

Om te begrijpen hoe het vocht in en uit de capillairen stroomt, moet je begrijpen welke krachten een rol spelen bij dit transport. De eerste kracht is de bloeddruk. Je hebt geleerd dat de bloeddruk variabel is, doordat er tijdens de hartpauze en het samentrekken van de boezems een onderdruk (diastolische druk) in de arteriën en arteriolen aanwezig is en bij het samentrekken van de kamers een bovendruk (systolische druk). Ook heb je geleerd dat dit verschil in druk in de capillairen te verwaarlozen is (zie figuur 1); we praten bij de capillairen niet meer over een boven- en onderdruk. In de grafiek zie je dat er in de overgang van de arteriolen naar de venulen sprake is van een exponentiële afname van de druk. Aangezien de gemiddelde lengte van een capillair 1 mm bedraagt, kijken we in ons model naar een klein stukje van deze overgang en dat kan door de vereenvoudiging gezien worden als een lineaire afname. Deze afname is afhankelijk van de lengte van het capillair.



Figuur 1: Verloop van de bloeddruk de grote bloedsomloop (Martini & Martholomew, 2012).

De druk neemt geleidelijk af, naarmate het bloed zich verder verplaatst door een capillair. Ter herinnering: druk is de kracht per vierkante meter (N/m2), dus als we de kracht willen weten op het bloed van een bepaald capillair dan vermenigvuldigen we de druk met het oppervlak van de capillair. De viscositeit is een belangrijke eigenschap van het bloed dat bepaalt hoe deze druk afneemt. De viscositeit is de ‘stroperigheid’ van een vloeistof. Honing heeft bijvoorbeeld een hogere viscositeit dan water. Bloed heeft ongeveer een viscositeit van μ=3,0\*10-3 Pa ·s. De formule die aangeeft hoe de druk over een capillair afneemt, kan worden beschreven met de Hagen-Poiseuille vergelijking:

**(vergelijking 1)**

In deze formule wordt er gesproken over *P(x)*, die de druk op positie *x* weergeeft, waarbij *Pbegin* de druk is op positie x=0. De afname van de druk van het capillair wordt bepaald tussen twee punten: de druk op positie Pbegin en de druk op een bepaalde lengte (x) vanaf dat punt. *P(x)* is de druk over een bepaalde lengte van het capilair. *μ* is de viscositeit van het bloed, *x* de lengte van het capillair en *Q* de hoeveelheid bloed (in m3) die per seconde door het capillair stroomt.Tot slotis *r* de straal van het capillair, die ongeveer *r=2,5\*10-6* m bedraagt.

Let op dat P(x) niet negatief wordt want dat betekent dat het bloed terug gaat stromen, wat niet realistisch is.

De tweede kracht, die een belangrijke rol speelt bij het transport tussen het bloed en de weefselvloeistof, is afkomstig van de osmotische druk. Deze druk is wat lastiger te begrijpen, doordat deze druk wordt begrepen vanuit de statistische thermodynamica, de kant van de natuurkunde die zich bezighoudt met het transport van energie en deeltjes. Om toch een idee te hebben waar deze kracht vandaan komt, is het goed om hier even bij stil te staan.

Osmotische druk kan alleen dan ontstaan als er een afscheiding is, waarbij (een groot deel van) de opgeloste- en gesuspendeerde deeltjes niet door de afscheiding heen kunnen, maar het water er wel doorheen kan. Bij de theorie over osmose heb je geleerd dat een voorbeeld van zo’n afscheiding een semipermeabel membraan is. In dit geval is het iets complexer, aangezien de ruimte tussen de endotheelcellen variabel is. Naast water kunnen hier ook kleinere moleculen, als voedingsstoffen en afvalstoffen, doorheen. Een ander deel van de opgeloste stoffen (bijv. eiwitten) en de gesuspendeerde stoffen (bijv. bloedplaatjes en bloedcellen) van het bloed kunnen niet door het endotheel heen. Op deze manier is er dus wel een semi-permeabele afscheiding aanwezig, waarbij de deeltjes die kunnen passeren afhankelijk zijn van de fysiologische omstandigheden. Aan beide kanten van het endotheel zijn er opgeloste stoffen aanwezig die in concentratie verschilt. Hierdoor ontstaat er een stroming van het water richting de kant waar de hoogste concentratie opgeloste stoffen is (osmose). Statistisch kun je dit uitleggen doordat de kans groter is dat een watermolecuul door het membraan heen gaat aan de kant waar minder eiwitten aanwezig zijn. Dat zou je kunnen uitleggen als dat er aan die kant vaker een eiwit ‘in de weg’ zal zitten voor een watermolecuul om door het endotheel heen te gaan. De colloïd-osmotische druk (*COP*) is gegeven door de formule:

**(vergelijking 2)**

De concentraties (*c1,2­*) staan voor de opgeloste stoffen in het bloed (c2) en het weefsel (c1) die niet door de wand van het capillair kunnen gaan. Dit is het drukverschil tussen het bloed en het weefsel als gevolg van de colloïd-osmotische druk. Als *COP*>0 dan betekent dat, dat het vocht van het weefsel naar het bloed gaat. Dat is ook logisch, want dan is C2 groter dan C1  en dus hebben we een positief drukverschil. *R* is de ideale gasconstante (8,314472 J·K−1mol−1) en T de lokale temperatuur in Kelvin.

Als er vocht van het bloed naar het weefsel moet gaan, moet dit drukverschil overwonnen worden door de aanwezige bloeddruk. Maar naarmate het bloed verder door het capillair loopt, zal de druk afnemen en gaat de colloïd-osmotische druk overheersen. Het vocht zal zich daarbij weer van het weefsel naar het bloed verplaatsen.

Bloed

Weefsel

c2

c1

P*begin*

X=0

X=L

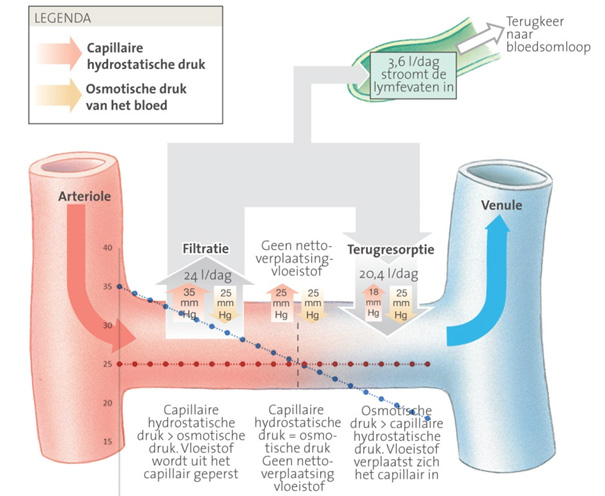
P(L)

Figuur 2: Bloeddruk en colloïd-osmotische druk in capillair. De bloeddruk (blauw) verloopt volgens de wet van Hagen-Poiseuille. De COP (rode pijl) is afhankelijk van de concentraties van eiwitten in bloedplasma (C2) en de weefselvloeistof (C1).

Figuur 3: **Vochttransport tussen een capillair en de weefselvloeistof**. De grafiek laat de relatie tussen de bloeddruk, P (de blauwe lijn) en de osmotische druk, COP (de rode lijn) zien. De blauwe driehoek staat voor de filtratie, waarbij het vocht het capillair verlaat, en de rode driehoek voor de absorptie, waarbij het vocht het capillair in komt.

Het punt in figuur 3 waar de blauwe en de rode lijn elkaar kruisen, is het punt waar de osmotische druk gelijk is aan de bloeddruk. Er zal op deze plek dus netto geen vocht in of uit het capillair stromen.

In figuur 4 hieronder is de grafiek van hierboven afgebeeld in een model van een capillair, waarbij de filtratie en absorptie (terugresorptie) te zien zijn. De grafiek laat het drukverloop in het capillair zien op de lengte in het capillair.



Figuur 4: Het drukverloop binnen een capillair, waarvan de filtratie en absorptie (terugresorptie) het gevolg zijn (bron origineel: Martini & Martholomew, 2012, aangepast door: Ewen & Weidema, 2017).

In figuur 4 is te zien dat de lymfe ongeveer 3,6 L/dag (= 10-20% van de filtratievloeistof) per dag transporteert, wat dus niet meer wordt geabsorbeerd in het capillair. Deze afvoer via de lymfe is in het model ‘vochttransport in weefsels’ niet opgenomen.

De afname van het bloedvolume in het capillair door filtratie is te verwaarlozen, want er wordt door het hart ongeveer 5L bloed per minuut (bij rust) weggepompt = 5 x 60 = 300 L/h x 24 = 7200 L/dag. Het bloedplasma bedraagt ong. 50%, dus dat komt neer op ong. 3600L bloedplasma dat er per dag door de capillairen stroomt. 24 L per dag / 3600 = ong. 0,7% van het plasma dat als gevolg van filtratie de capillairen verlaat, dat te verwaarlozen is. In dit model houden we daarom geen rekening met de afname van het bloedvolume over de afstand van het capillair.

**Referenties**

Martini, F. H. & Bartholomew, E. F. (2012). *Anatomie en fysiologie: een inleiding* (5e ed.). Amsterdam: Pearson Benelux B.V.