

## BLOEDDRUKREGULATIE BIJ SLANGEN

Door: P. Schiereck, Fysiologisch Laboratorium,  
Vondellaan 24, Utrecht, tel. 030-880521.

Inhoud: Inleiding - Het model - Het experiment -  
Resultaten - Regulatie - Temperatuur af-  
hankelijkheid - Literatuur.

### INLEIDING

Dagelijks kan men ervaren dat het systeem dat de bloeddruk in de slagaders regelt door de zwaartekracht wordt beïnvloed. Snel opstaan veroorzaakt voor een paar seconden duizelingen. De bloeddruk in het hoofd direct na het oprichten wordt verminderd met de druk van de vloeistofkolom die ongeveer zo hoog is als de afstand tussen oog en hart. Dat is nog net genoeg om even te duizelen. Gelukkig registreert een snel regulatiesysteem, de baroreceptor, deze daling in de hersenen en corrigeert dit met neurale en cardiale acties: de baroreceptorreflex. De gemiddelde druk is dan weer 100 mm kwikdruk (in een hartcyclus van 120 tot 180 mm kwikdruk) en de hartfrequentie is ongeveer 80 slagen per minuut.

Tot zover een voorbeeld van een zoogdier. Wat gebeurt er met een dier met andere proporties wanneer deze zich opricht, bijvoorbeeld een python van 6 meter, met zijn hart op ongeveer 1 meter van zijn kop? Welke druk heerst er in zijn hersenen wanneer deze slang 'opstaat', of zo u wilt zijn kop opsteekt? Er zijn experimenten uitgevoerd met slangen, die leven in water, op het land en in de bomen. De dieren werden uitgestrekt en om het 'opstaan' na te bootsen, van horizontale in verticale positie gebracht (en daar tussen in). Dus wanneer de python rechtop wordt gezet, moet zijn hart het bloed 1 meter extra omhoog pompen om de druk van

de kolom te compenseren. Dit betekent een compensatie van 70 mm kwikdruk, terwijl zijn bloeddruk in horizontale positie 75 mm kwikdruk was. De druk in zijn hersenen is dan ook voor een korte periode ongeveer 0 mm kwikdruk. Hij zal dus zeker sterretjes zien. Voor het hart van een slang best een fors probleem.

Voordat we de experimenten en resultaten gaan bespreken eerst enige getallen over normale uitgangswaarden bij slangen in horizontale positie. De getallen komen van artikelen van Lillywhite et al. (1978, 1983, 1985) en Seymour et al. (1976, 1981).

Omgeving	Gemiddelde bloeddruk	Hart-Kop afstand t.o.v. lich. lengte
zee	25	1/3
bodem	55	1/6
boom	75	1/6

#### HET MODEL

De verdeling over de drie groepen is gebaseerd op de mogelijkheden om de invloed van de zwaartekracht te kunnen ervaren. De arboreaal levende slangen zullen deze kracht regelmatig ervaren. Daarom hebben zij ook een regelsysteem dat hen in staat stelt snel de bloeddruk in de hersenen adequaat te regelen. De op de bodem levende slangen hebben maar beperkte mogelijkheden hun horizontale positie snel te veranderen en hebben daarom een minder goed ontwikkeld, snel werkend drukregulatiesysteem nodig. Het meest simpel in regulatie zijn de zeeslangen. Wanneer zij rechtop worden gezet in het water, zal de kop-hart vloeistof kolom worden 'opgevangen' door een even hoge kolom aan de bui-

tenzijde van de slang, dus geen extra drukverandering geven. Maar als dit boven water gebeurt, komen ze in grote problemen. Samengevat, toenemende regulatiemogelijkheden om de drukverandering onder invloed van de zwaartekracht op te vangen in hart en circulatie van zeeslang naar boomslang.

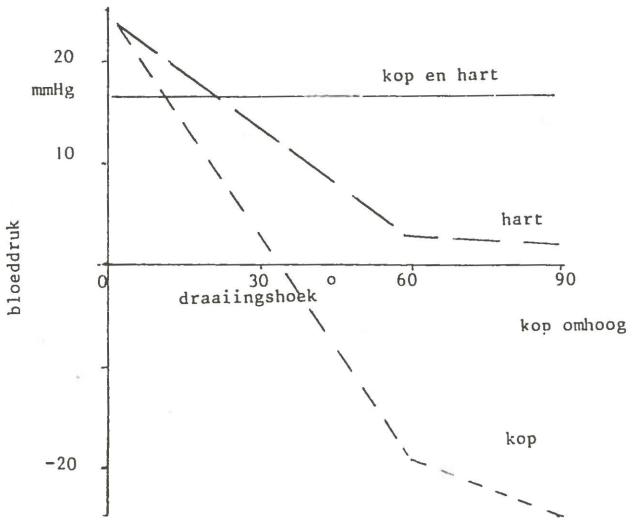
## HET EXPERIMENT

Het protocol van het experiment is als volgt. Stop een slang in een niet te nauwe of wijde buis. De buis is draaibaar in het verticale vlak. De rotatie as bevindt zich op de plaats waar het hart van de slang wordt gedacht te zitten. De buis wordt nu snel vanuit horizontale positie over een bepaalde hoek gedraaid. Met een drukopnemer wordt de bloeddruk in de dorsale aorta gemeten, op de hoogte van het hart. De baroreceptor reflex behoort de veranderingen die ontstaan binnen enkele hartslagen weg te werken.

Voor zeeslangen wordt de buis in een bak volledig onder water recht op gezet. Ter vergelijking met de landslangen wordt dat voor zeeslangen ook een keer boven water gedaan.

## RESULTATEN

In zeeslangen, onder water, kan geen verandering in de bloeddruk worden gemeten, wanneer ze snel van horizontaal naar verticaal worden gedraaid. Maar als dit boven water wordt herhaald, is er een drukdaling op harthoogte te meten, die wordt veroorzaakt doordat ten gevolge van de elastische eigenschappen van de bloedvaten een hoeveelheid bloed zich verplaatst van hoog naar laag en hiermee het drukregulatiesysteem beïnvloedt: veneuze pooling. De druk in de kop wordt uitgerekend door de vloeistofhoogte van kop tot hart af te trekken van de hartdruk. In figuur 1 is de druk in



figuur 1

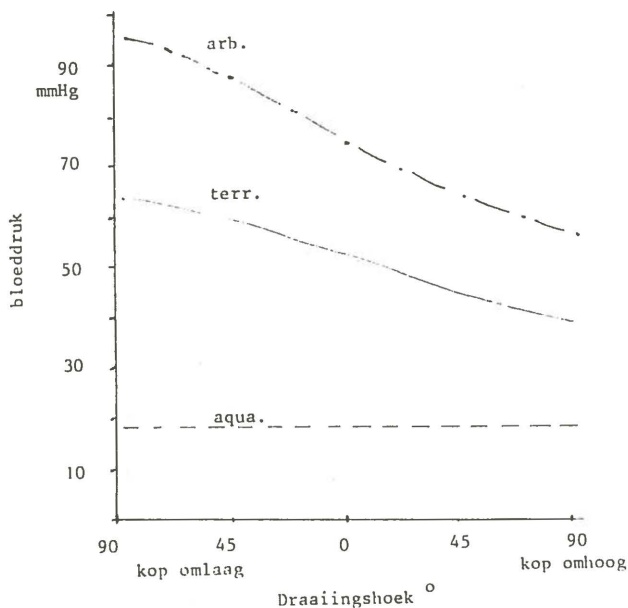
Figuur 1: Relatie tussen arteriële druk en draaiingshoek bij een zeeslang. De gestreepte lijnen geven de druk na draaiing in lucht weer. De getrokken lijn geeft het resultaat onder water weer.

hart en kop uitgezet tegen de hoek waaronder de slang is gedraaid, voor onder water (getrokken) en boven water (gestreept).

Dus zeeslangen hebben geen (of slecht ontwikkeld) snel reagerend bloeddrukregelsysteem. In hun natuurlijke omgeving hebben ze dat ook niet nodig, maar de boomslangen zullen niet zonder kunnen.

Met bodembewonende- en boomslangen werd hetzelfde experiment uitgevoerd. Figuur 2 vat de resultaten samen voor de drie groepen (water, bodem, boom) wanneer zij in hun specifieke omgeving (onder of boven water) vanuit horizontaal worden gedraaid naar kop omlaag of naar kop omhoog en stonden daar tussenin. Deze curven geven de berekende druk in de hersenen weer, gebasserd op de druk in het hart,

gemeten direct na het verdraaien. Wanneer de druk in de hersenen constant moet blijven dan moet het drukregulatiesysteem op zijn minst de druk terugbrengen zoals die in horizontale positie was. In geval van een boomslang, een 125 cm lange *Boiga dendrophila*, is de druk in de kop direct na rotatie tot 90° omhoog, ongeveer 60 mm kwikdruk.



figuur 2

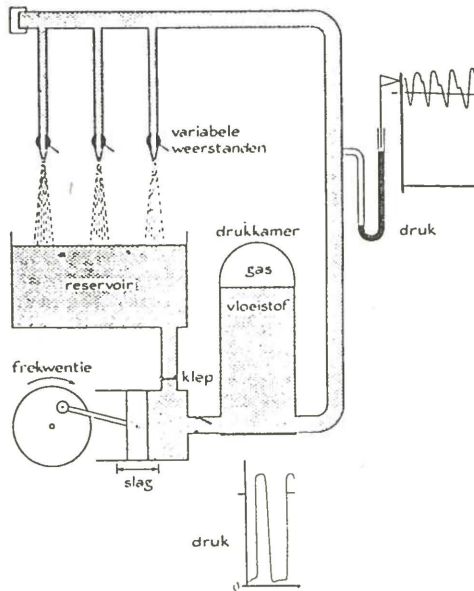
Figuur 2: Bloeddruk uitgezet tegen de draaiingshoek. Voor slangen uit drie verschillende leefgebieden is de druk in de hersenen uitgezet, direct na draaiing.

## REGULATIE

Het hart werkt als een pulserende pomp. Dat betekent dat alleen in bepaalde perioden bloed het arteriële systeem wordt ingepompt. In het weefsel,



vooral in de hersenen, is een constante druk gewenst om een goede uitwisseling van voeding- en afvalstoffen te waarborgen. Dit constante niveau wordt tot stand gebracht door de elastische eigenschappen van de spieren in de vaatwand. De manier waarop het wekt is vergelijkbaar met het wandketel-model van de oude brandspuit. Figuur 3 laat de schematische opzet zien. De lucht in de luchtkamer wordt samengeperst gedurende de ejectieslag van de pomp, waardoor energie wordt opgeslagen. Deze



figuur 3

Figuur 3: Schematische weergave van de circulatie. De pomp stelt het hart voor, het reservoir de veneuze circulatie, de buizen en de luchtkamer stellen het arteriële systeem voor. De pulsatieve druk van het hart wordt tot minder pulsatief omgezet in de arteriën. De kranen laten de weefseldoorstroming toe.

energie wordt vervolgens overgedragen aan de circulatie als de pomp met het reservoir (veneuze circulatie) is verbonden en daarom niet gekoppeld staat aan het arteriële deel (klep dicht).

Om een hogere druk te krijgen zijn er twee mogelijkheden:

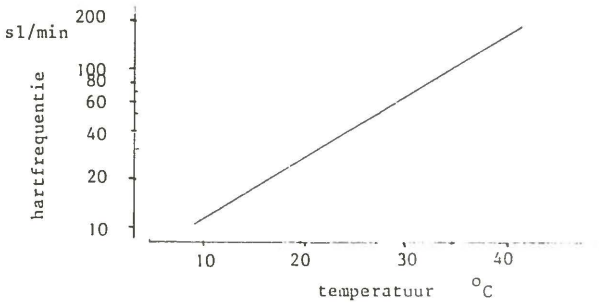
1. groter aantal ejecties per minuut > hogere hartfrequentie.
2. betere balans tussen volume en druk in de luchtkamer > volume van, en spanning in de arteriële wand.

Het tweede punt behoeft nadere uitleg. De spanning in de vaatwand (arterie en vene) wordt gecontroleerd door het autonome zenuwstelsel. Als de druk te laag is reageert dit zenuwstelsel met een toename in de wandspanning om zo het volume van het vaatstelsel kleiner te krijgen. Hierdoor stijgt de bloeddruk in het vaatstelsel.

Het is vooral dit laatste mechanisme dat bij reptielen voor de regulatie van de bloeddruk zorgdraagt. Een aanvullend effect van deze drukverhoging is dat het bloed sneller van de venen naar het hart stroomt. Het hart reageert op deze toegevoegde vulling door meer bloed uit te pompen. Dit 'compensatie'-mechanisme wordt het Starling-mechanisme genoemd. Maar dit kan ook verantwoordelijk zijn voor een daling in druk als er minder bloed naar het hart stroomt. Dit mechanisme heeft echter een tiental hartslagen nodig.

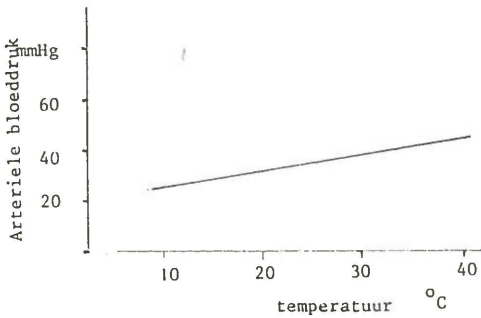
## TEMPERATUURAFHANKELIJKHEID

De hartfrequentie speelt een aanvullende rol vanwege de temperatuurafhankelijkheid van het metabolisme. Dit is weergegeven in figuur 4. De hartfrequentie neemt een factor 10 toe als de temperatuur van  $10^{\circ}$  tot  $40^{\circ}\text{C}$  oploopt. In figuur 5 is te zien dat de bloeddruk slechts een factor 2 stijgt over het zelfde temperatuurgebied. Het effect van



figuur 4

Figuur 4: Hartfrequentie als functie van de temperatuur. NB. de verticale schaal is logaritmisch.

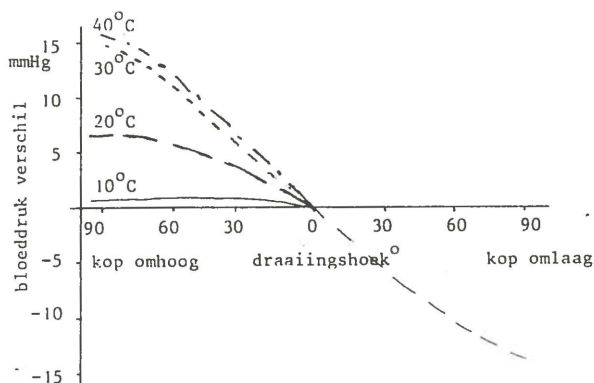


figuur 5

Figuur 5: Arteriële druk als functie van de temperatuur.

de vaatwandspanning op de bloeddruk is dus een factor 5 over dit temperatuurgebied. Als de druk omlaag gaat ten gevolge van een positieverandering, herstelt de vaatwandspanning de druk door af te nemen bij naar beneden hangen of door toe te nemen bij rechtop staan. Het tot stand brengen van de spanning is een energievragend proces. De vraag is hoe effectief het bloeddrukregulerend systeem kan werken bij verschillende temperaturen.





figuur 6

Figuur 6: Drukverschil bij het hart na draaiing bij verschillende temperaturen in een bodembewonende slang, nadat er zich een stabiele toestand heeft ingesteld.

Experimenten met *Notechis scutatus* leverden de relatie op tussen veranderingen in bloeddruk en draaiingshoek bij verschillende temperaturen. Deze toestand, nadat de druk stabiel is geworden, is weergegeven in figuur 6.

Deze figuur laat zien dat bij lage temperaturen de bloeddruk ter hoogte van het hart nauwelijks of niet toeneemt om de druk van de vloeistofkolom tussen kop en hart te compenseren. Een ander effect is, dat de druk afneemt bij het met de kop naar beneden hangen, onafhankelijk van de temperatuur. Deze daling wordt veroorzaakt door verwijding van de bloedvaten, wat geen energie kost, dus onafhankelijk is van de temperatuur. Het beschermt de slang tegen te hoge drukken in de hersenen. Dit is net zo belangrijk als het beschermen tegen te lage drukken. In geval van te hoge druk zal op den duur vloeistof uit de kleine bloedvaten (capillairen) naar de ruimte gaan waar de hersencellen zich bevinden. Deze uittreding van vloeistof blok-

keert een goede uitwisseling van zuurstof en kool-dioxide, dus een zeer gevaarlijke situatie. Het is opvallend dat, in relatie tot de noodzaak om drukverschillen in de hersenen te minimaliseren wanneer de slang van positie verandert, in bodembewonende- en boomslangen het hart dicht bij de kop zit dan bij zeeslangen, om zo de extra energie, die het hart nodig heeft voor dit werk, binnen acceptabele grenzen te houden.

#### LITERATUUR

- Lillywhite, H.B. & K.P. Glaagher, 1985. Hemodynamic adjustments to head-up posture in the partly arboreal snake, *Elaphe obsoleta*. J. Exp. Zool., Vol. 235: 325-334.
- Lillywhite, H.B. & F.H. Pough, 1983. Control of arterial pressure in aquatic sea snakes. Am. J. Physiol., Vol. 244: R66-R73.
- Lillywhite, H.B. & R.S. Seymour, 1978. Regulation of arterial blood pressure in Australian tiger snakes. J. Exp. Biol., Vol. 75: 65-79.
- Seymour, R.S., G.P. Dobson & J. Baldwin, 1981. Respiratory and cardiovascular physiology of aquatic snake, *Acrochordus arafurae*. J. Comp. Physiol., Vol. 144: 215-227.
- Seymour, R.S. & H.B. Lillywhite, 1976. Blood pressure in snakes from different habitats. Nature, Vol. 264: 664-666.