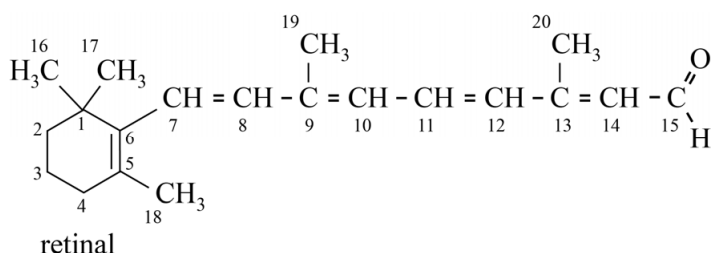


## Retinal in het oog

In de cellen van het netvlies bevindt zich het eiwit opsine. In een holte van het opsine-molecuul is een molecuul retinal covalent gebonden aan de restgroep van de aminozuureenheid lysine. Bij absorptie van lichtenergie treedt in retinal op één plaats in het molecuul *cis/trans*-isomerisatie op. Als gevolg van deze verandering ontstaat uiteindelijk een signaal in de oogzenuw.

In figuur 1 is de structuurformule van retinal weergegeven. Hierbij is informatie over stereo-isomerie in retinal weggelaten.

figuur 1



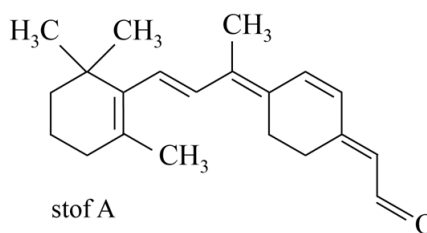
In een retinal-molecuul is *cis/trans*-isomerisatie op een aantal plaatsen mogelijk. De biochemicus George Wald (Nobelprijs 1967) heeft ontdekt dat uitsluitend de dubbele binding tussen C11 en C12 onder invloed van licht isomeriseert van het in opsine aanwezige *cis* naar *trans*; dit is de eerste stap van de waarneming van licht.

- 1p 8 Geef aan bij welke C=C-bindingen in retinal ook *cis/trans*-isomerisatie zou kunnen optreden.

In het onderzoek van Wald is gebruikgemaakt van retinal-analoga. Dit zijn stoffen waarbij in het retinal-molecuul op verschillende plaatsen de *cis/trans*-isomerisatie is geblokkeerd.

Hiernaast is de structuurformule van zo'n stof (stof A) weergegeven.

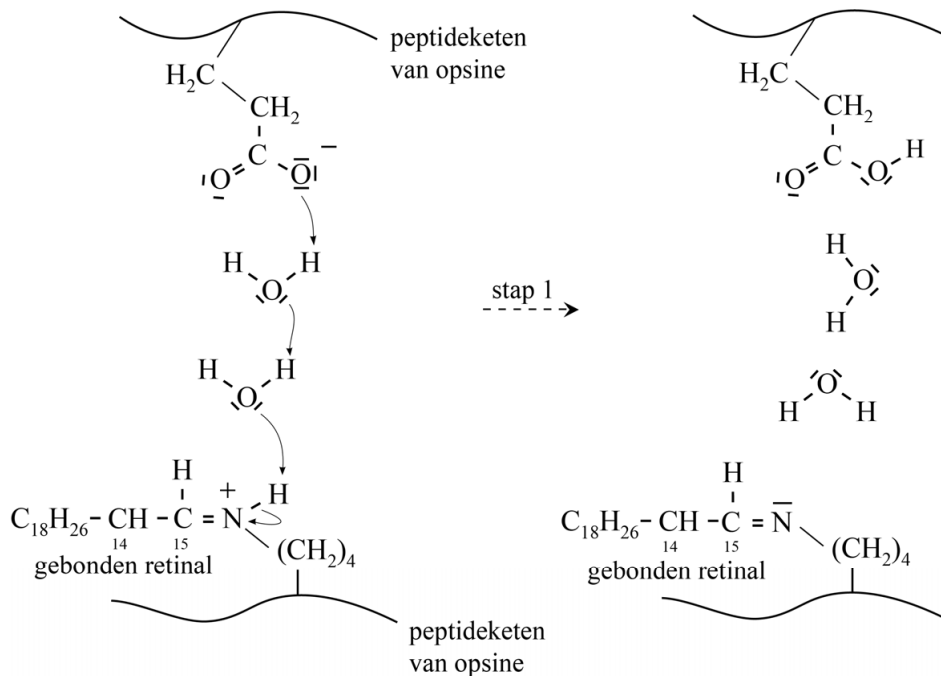
In het molecuul van stof A is *cis-/trans*-isomerisatie van de dubbele binding tussen C11 en C12 onmogelijk. Dit molecuul kan worden opgevat als een molecuul retinal waarin onder andere een extra koolstofatoom in de structuur is opgenomen.



- 3p 9 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de nummers van de koolstofatomen van retinal waartussen dit extra koolstofatoom is opgenomen.
  - Leg uit of stof A is afgeleid van 11-*cis*-retinal of van 11-*trans*-retinal.

In figuur 2 is weergegeven hoe retinal is gebonden aan een restgroep van de peptideketen van opsine. Na de isomerisatie wordt retinal losgekoppeld van opsine. In figuur 2 is de eerste stap van het loskoppelen weergegeven. In deze eerste stap spelen twee watermoleculen een belangrijke rol.

**figuur 2**



In de holte van opsine is tegenover het gebonden retinal een restgroep van Glu aanwezig. Door de afstanden en aanwezige ladingen in de holte zijn de watermoleculen links van de pijl op een specifieke wijze georiënteerd ten opzichte van de restgroepen in opsine.

Hierbij spelen waterstofbruggen en nog een andere soort binding een rol.

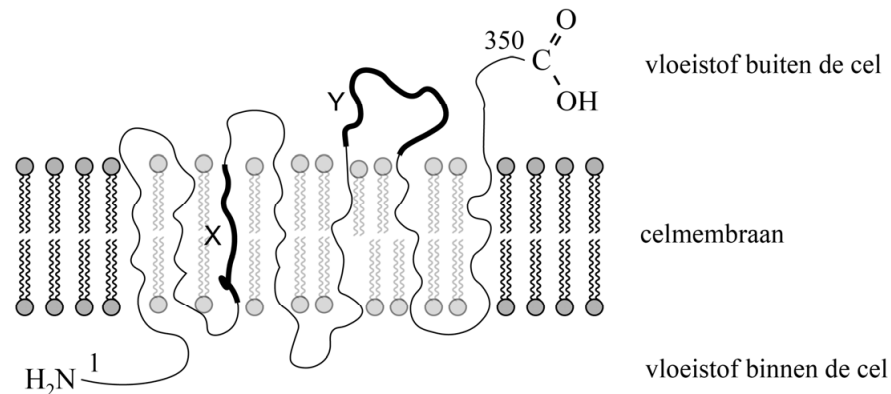
- 2p **10** Leg uit welke andere soort binding links van de pijl nog meer zorgt voor de oriëntatie van de watermoleculen ten opzichte van de restgroepen in opsine.

De na stap 1 weergegeven watermoleculen blijven aanwezig in de holte van opsine. Ze zijn hierbij onder andere met waterstofbruggen gebonden aan restgroepen van de peptideketen.

- 1p **11** Teken op de uitwerkbijlage een waterstofbrug tussen een molecuul water en een van de weergegeven restgroepen van de peptideketen.

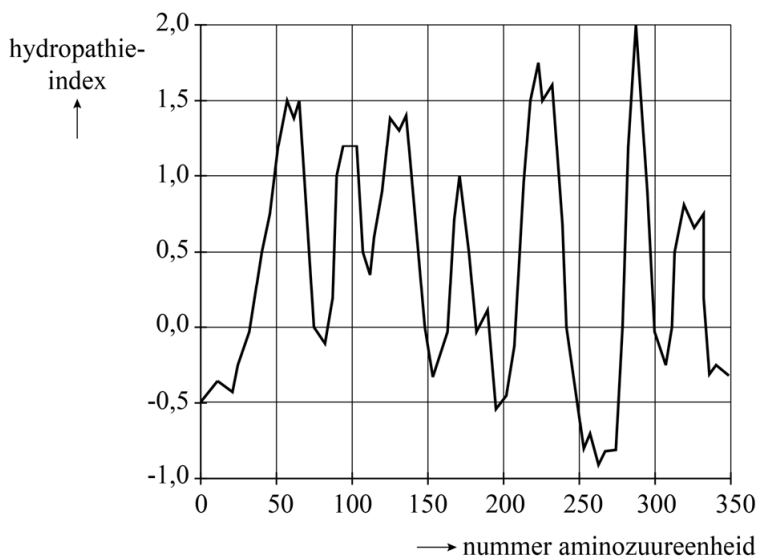
Opsine bevindt zich deels in het celmembraan.  
In figuur 3 is vereenvoudigd weergegeven hoe opsine zich volgens onderzoekers in het celmembraan bevindt. Voor de duidelijkheid is een deel van het celmembraan lichter weergegeven.

**figuur 3**



De onderzoekers hebben de modelvoorstelling onder andere gebaseerd op de hydropathie-index. Deze index wordt modelmatig berekend en geeft aan in hoeverre een aminozuureenheid in een peptideketen hydrofiel of hydrofoob is. Hoe hoger de hydropathie-index, hoe meer de hydrofobe eigenschappen overheersen. In figuur 4 is de hydropathie-index van alle aminozuureenheden van opsine weergegeven.

**figuur 4**



In figuur 3 zijn twee gebieden uit opsine vetgedrukt en aangeduid met de letters X en Y. Deze gebieden bevatten een aantal aminozuureenheden. De nummers van deze aminozuureenheden kunnen met behulp van figuur 4 worden geschat.

- 2p 12 Geef met behulp van figuur 3 en figuur 4 een schatting van de nummers van de aminozuureenheden die horen bij de gebieden X en Y.

Noteer je antwoord als volgt:

- gebied X: nummers ... t/m ...
- gebied Y: nummers ... t/m ...

In het menselijk oog komen drie verschillende varianten van opsine voor. De peptideketen van elke opsine heeft een iets andere ruimtelijke bouw. Hierdoor treedt de isomerisatie van retinal op bij verschillende kleuren licht, zoals rood en groen. De genen voor de 'rode' en 'groene' opsine zijn voor een groot deel aan elkaar gelijk.

In figuur 5 is een gedeelte van het coderende DNA van beide varianten weergegeven vanaf de base met nummer 826. De genetische code van beide opsines begint hierbij bij base nummer 1. Het startcodon codeert voor de aminozuureenheid met nummer 1.

**figuur 5**

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
|                 | ↓ 826                 |
| 'rode' opsine   | GCGTACTGCGTCTGC ...   |
| 'groene' opsine | GCA TTCTGCT TCTGC ... |

Uit de basenvolgorde in figuur 5 valt het nummer af te leiden van de eerste aminozuureenheid die in 'rode' opsine anders is dan in 'groene' opsine.

- 2p    **13**    Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef het nummer van de eerste aminozuureenheid die in 'rode' opsine anders is dan in 'groene' opsine.
  - Geef aan welke aminozuureenheid zich op die plaats in de peptideketen van 'rode' opsine bevindt en welke zich in de peptideketen van 'groene' opsine bevindt.