

## Stress versnelt evolutie van Mexicaans visje

Evolutie gaat sneller als epigenetische mechanismen een rol spelen. Dit is aangetoond bij een zoetwatervisje, de Mexicaanse tetra.

Stress blijkt de evolutie van de Mexicaanse tetra *Astynax mexicanus* te versnellen. In pikdonkere grotten, onderdeel van een ondergronds rivierenstelsel, wordt een variant van de vis aangetroffen die zijn ogen heeft verloren door een bijzonder evolutionair mechanisme. Afbeelding 1 toont twee tetra's met normale ogen (riviertetra) en de variant zonder ogen (grottentetra).

afbeelding 1



Een Amerikaans team van ontwikkelingsbiologen en genetici onderzocht of de mutaties die leiden tot de oogloze vissen pas in de populatie in de grotten zijn ontstaan of al (verborgen) aanwezig waren in de populatie riviertetra's met normale ogen.

De oogloze grottentetra is ontstaan uit een tetra mét ogen. Kennelijk is in grotten het bezit van ogen een evolutionair nadeel.

1p 14 Geef hiervoor een verklaring.

Het komt regelmatig voor dat een riviertetra bij toeval een grot inzwemt. De plotselinge overgang naar een leven in een ondergrondse rivier leidt tot stress bij de vissen. Ze komen terecht in omstandigheden waar minder voedsel is en een lagere zuurstofspanning. Het water in de grotten heeft bovendien een lagere osmotische waarde dan in de bovengrondse rivier.

Vissen doen aan osmoregulatie door netto meer of minder zouten op te nemen via de kieuwen en uit het voedsel in de darmen. Ook kunnen ze de mate van reabsorptie van zouten uit de voorurine regelen.

Wanneer *A. mexicanus* migreert van een bovengrondse naar een ondergrondse rivier moet hij zich snel aanpassen aan de veranderde osmotische waarde van zijn nieuwe leefomgeving.

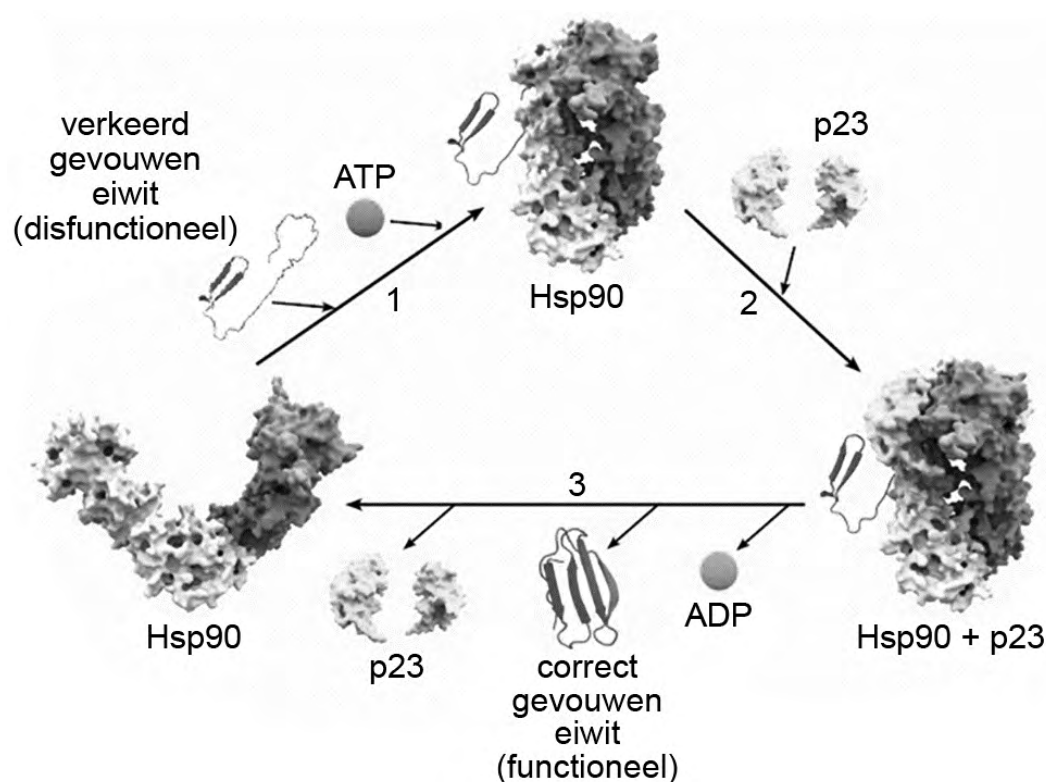
2p 15 Op welke wijze kan zo'n migrerende riviertetra zijn osmotische waarde trachten te handhaven in de grotten?

- A de opname van zouten via de kieuwen verlagen
- B meer drinken
- C urine produceren met een lagere zoutconcentratie
- D zoutere feces produceren

Nadat riviertetra's in grotten terechtkwamen en daar bleven, ontstonden er onverwacht snel oogloze varianten. Het snelle ontstaan van de oogloze dieren kan niet verklaard worden door nieuwe mutaties. Er zijn namelijk zo'n 15 tot 20 mutaties nodig voor het kleiner worden en verliezen van de ogen.

De onderzoekers veronderstelden dat deze mutaties al in de riviertetra's aanwezig waren, maar onderdrukt werden door een overmaat van het eiwit Hsp90 (Heat shock protein). Hsp90 behoort tot de chaperonnes: eiwitcomplexen die helpen bij het tot stand brengen en herstellen van de correcte vouwing van andere eiwitten, die daardoor weer functioneel worden. In afbeelding 2 is weergegeven hoe dat gebeurt.

**afbeelding 2**



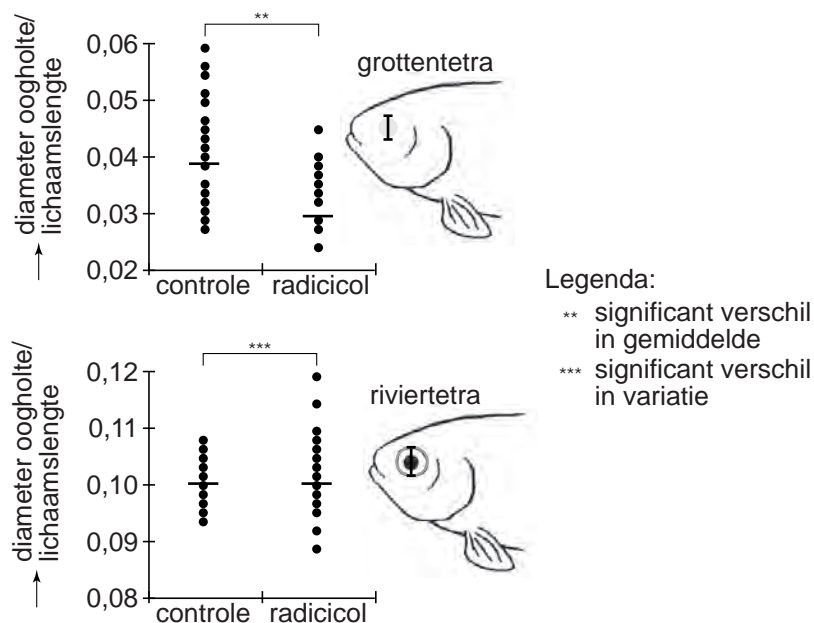
Een Hsp90 complex gaat een binding aan met een verkeerd gevouwen eiwit en ATP (1). Hierna worden p23-eiwitten aan het complex gebonden (2). Na verbruik van ATP kan het chaperoncomplex de correcte vouwing van het eiwit herstellen. Het correct gevouwen eiwit wordt losgelaten (3), de p23-eiwitten komen los en Hsp90 kan opnieuw een verkeerd gevouwen eiwit binden.

Bij de riviertetra's leidt de aanwezigheid van een overmaat Hsp90 tot minder afwijkende eiwitten in de cel en een onderdrukking van de fenotypische variatie.

- 2p 16 Welke structuur van een disfunctioneel eiwit (zie afbeelding 2 op pagina 11) kan door Hsp90 worden hersteld?
- A alleen de primaire structuur
  - B alleen de secundaire structuur
  - C alleen de tertiaire structuur
  - D alleen de primaire en secundaire structuur
  - E alleen de secundaire en tertiaire structuur
  - F de primaire, secundaire en tertiaire structuur

De stress ten gevolge van het milieu in de grotten leidt tot meer verkeerd gevouwen eiwitten. De cellen van de grottentetra hebben dan te weinig Hsp90 om de correcte vouwing van alle eiwitten uit te voeren. Om het effect van een tekort aan functioneel Hsp90 te onderzoeken, werden embryo's van zowel de riviertetra als de grottentetra blootgesteld aan radicicol, een Hsp90-remmer. Toen deze embryo's uitgegroeid waren tot volwassen tetra's van ongeveer gelijke grootte werden de lichaamsgrootte en de grootte van de oogholte gemeten. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in afbeelding 3.

afbeelding 3



Twee beweringen over de experimenten met radicol zijn:

- 1 Een lage concentratie werkzaam Hsp90 tijdens de embryonale ontwikkeling leidt tot een gemiddeld kleinere oogholte diameter bij volwassen grottentetra's;
- 2 Een lage concentratie werkzaam Hsp90 tijdens de embryonale ontwikkeling leidt tot een beperkte variatie in oogholte diameter bij volwassen riviertetra's.

- 2p 17 Welke bewering wordt of welke beweringen worden ondersteund door de resultaten weergegeven in afbeelding 3?
- A geen van beide
  - B alleen 1
  - C alleen 2
  - D zowel 1 als 2

De hoeveelheid Hsp90 in cellen heeft volgens de onderzoekers invloed op de snelheid van de evolutie.

Vier situaties die leiden tot het ontstaan van de grottentetra uit de riviertetra (met de 15 à 20 in dit verband relevante mutaties) zijn hieronder weergegeven:

- 1 De vissen ervaren stress;
- 2 De vissen hebben een overmaat aan Hsp90;
- 3 De vissen hebben een tekort aan Hsp90;
- 4 De vissen migreren naar grotten.

- 1p 18 Welke volgorde van situaties verklaart de snelle aanpassing van een riviertetra die leidt tot het fenotype grottentetra? Noteer de vier nummers van de gebeurtenissen in de juiste volgorde.

Uit de experimenten met tetra's leiden de onderzoekers af dat omgevingsstress bij riviertetra's die in grotten terechtkomen, aanvankelijk leidt tot een vergrote fenotypische variatie.

Bij de populaties grottentetra's die in de grotten leven, wordt echter maar weinig fenotypische variatie gevonden.

- 3p 19
- Leg uit waardoor bij tetra's die in de grotten gaan leven er aanvankelijk in de populatie een vergrote fenotypische variatie ontstaat.
  - Verklaar dat bij de tetra's die langdurig in de grotten verblijven, de fenotypische variatie gering is geworden.