

# The human vestibulo-ocular reflex

L.J.J.M. Boumans

## SAMENVATTING

Een beweging van het hoofd prikkelt de zintuigen in de halfcirkelvormige kanalen van de evenwichtsorganen, hetgeen leidt tot een oogbeweging in een tegengestelde richting. Dit volledig automatische proces vindt plaats binnen het vestibulo-oculaire reflex (VOR) systeem. Het zorgt aldus voor een constante blikrichting en daarmee voor een stabilisatie van het beeld op het netvlies.

De natuurlijke prikkel voor de zintuigen in de halfcirkelvormige kanalen is de hoekversnelling. Deze versnelling veroorzaakt, ten gevolge van het achterblijven van de vloeistof (endolymfe) in de kanalen, een uitwijking van de cupula. De uitslag van de cupula prikkelt de zintuigzenuwcellen die op hun beurt de prikkel overbrengen op de achtste hersenzenuw. Op deze wijze wordt de prikkel naar de hersenstam geleid, alwaar overschakeling plaats vindt op de zenuwen naar de oogspieren, uiteindelijk resulterend in een oogbeweging met een richting tegenovergesteld aan die van de versnelling van het hoofd.

Het komt er dus op neer dat een hoekversnelling (in  $0/s^2$ ) een uitslag (in graden) van de cupula veroorzaakt, waardoor een oogsnelheid (in  $0/s$ ) in tegengestelde richting ontstaat.

Op grond van de mechanica van het cupula-endolymfe-systeem is omstreeks 1930 een mathematisch model opgesteld, waarmee de cupula-uitslag voor een bepaalde hoekversnelling berekend kan worden. Indien de resulterende oogsnelheid evenredig verondersteld wordt met de cupula-uitslag, dan zou met dit zogenaamde 2e orde model de overdrachtsfunctie van het VOR-systeem bepaald zijn.

Tijdens onderzoek aan het VOR-systeem bleek echter dat de resultaten niet geheel klopten met de voorspellingen die gedaan waren op grond van het 2e orde model. Bij een langdurige stimulatie nam de reactie van het VOR-systeem langzaam af (adaptatie). Om deze afname te kunnen beschrijven werd omstreeks 1970 een adaptatie-term aan het 2e orde model toegevoegd.

In dit proefschrift zijn de reacties van het 2e orde model met en zonder adaptatie systematisch onderzocht voor drie verschillende vormen van hoekversnelling. Tevens zijn de reacties van het VOR-systeem op dezelfde vormen van versnelling bij enkele gezonde proefpersonen bepaald en vergeleken met de voorspellingen, gedaan op grond van de uitkomsten uit de theoretische berekeningen.

In sectie I is als stimulus een impuls gebruikt. Deze vorm van versnelling werd verkregen door een plotselinge verandering in de draaisnelheid om de verticale as van een proefpersoon. De reacties van het 2e orde model zonder adaptatie, dat wil zeggen de cupula-uitslag ( $\theta_c$ ), en die van het 2e orde model met adaptatie, dat wil zeggen de resulterende oogsnelheid ( $\dot{\theta}_e$ ) staan weergegeven in fig. 1. De toevoeging van de adaptatieterm veroorzaakt een snellere afname en een omkering van richting van de oogsnelheid in de periode volgend op de impuls. Deze verschijnselen werden bij alle proefpersonen gevonden.

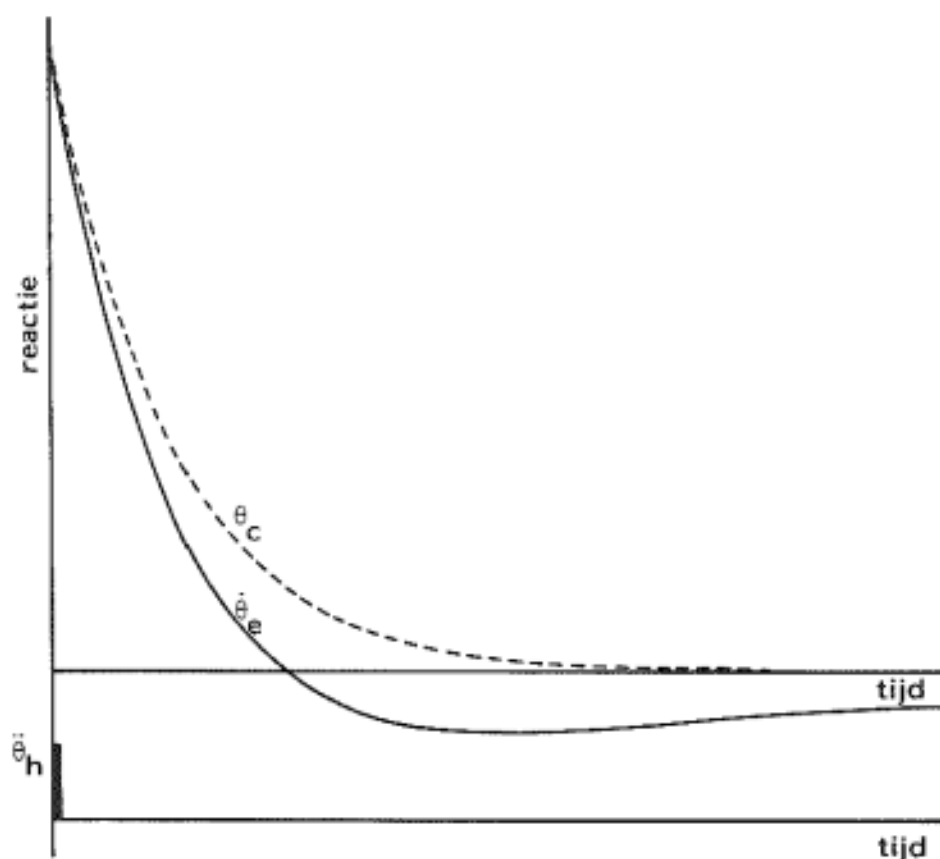


Fig. 1. Reactie van het 2e orde model zonder (onderbroken lijn) en met adaptatie (ononderbroken lijn) op een impulsvormige stimulus.  $\theta_c$ =uitslag van de cupula;  $\dot{\theta}_e$ =snelheid van het oog en  $\ddot{\theta}_h$ =versnelling van het hoofd.

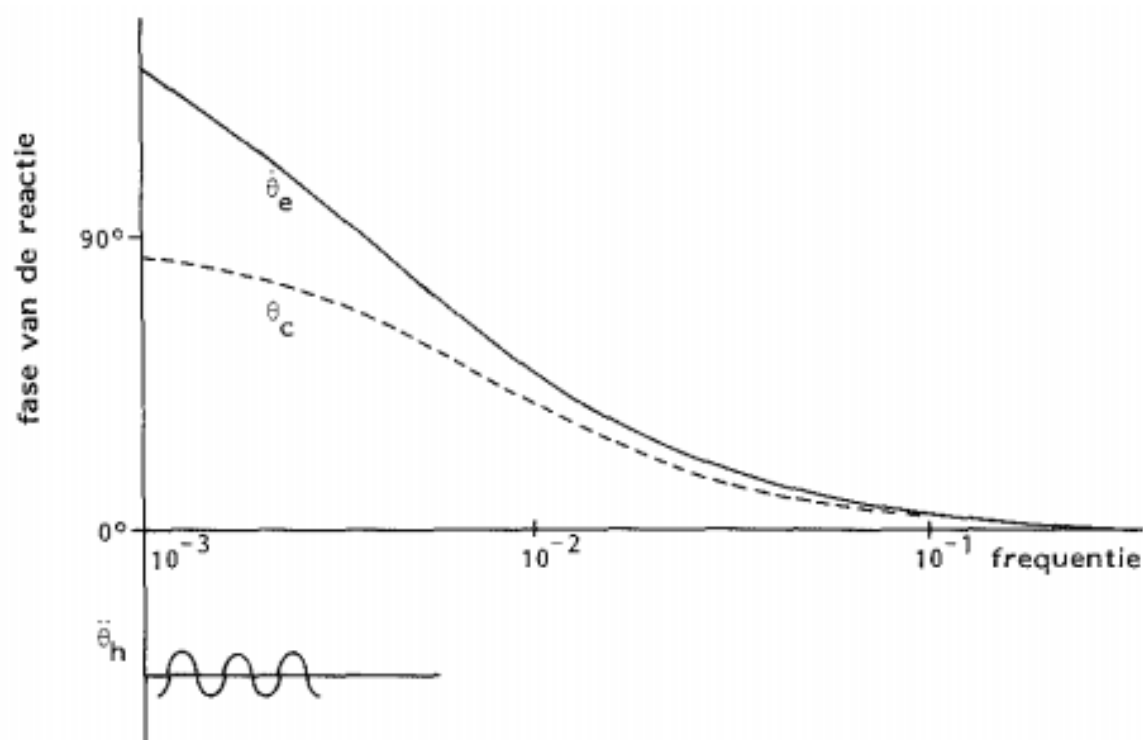


Fig. 2. Fase-voorloop van het 2e orde model zonder (onderbroken lijn) en met adaptatie (ononderbroken lijn).  $\theta_c$ =fase van de cupula-uitslag;  $\dot{\theta}_e$ =fase van de oogsneldheid.  $\theta_c$  en  $\dot{\theta}_e$  zijn berekend ten opzichte van de fase van de hoofdsnelheid.

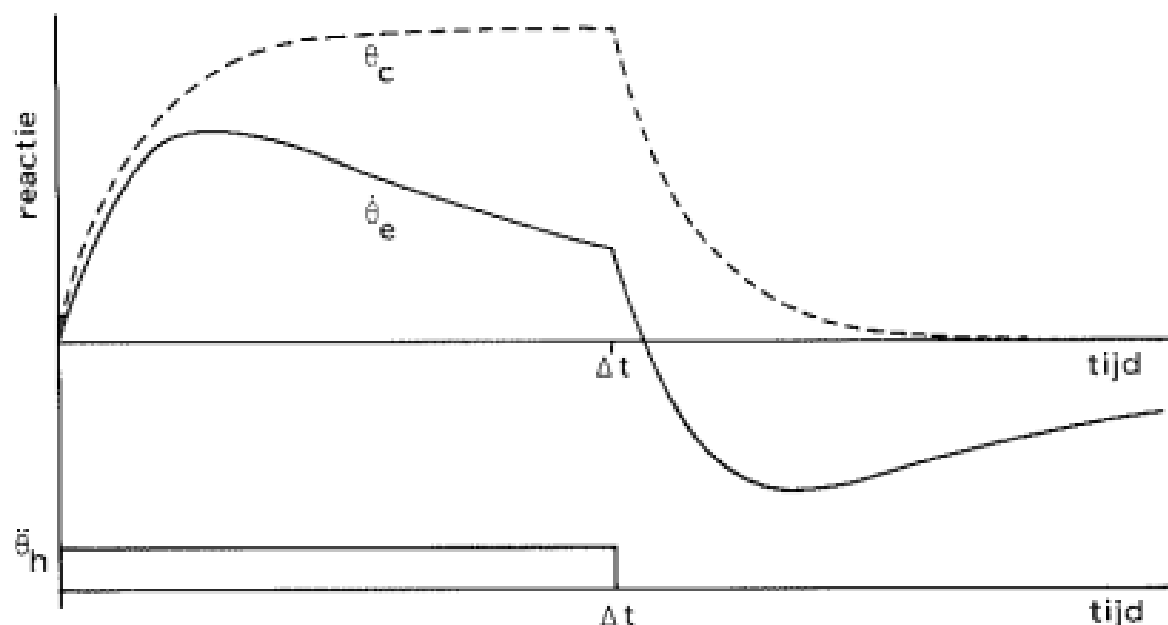


Fig. 3. Reactie van het 2e orde model zonder (onderbroken lijn) en met adaptatie (ononderbroken lijn) tijdens en na een periode met constante versnelling.  $\theta_c$ =uitslag van de cupula;  $\dot{\theta}_e$ =snelheid van het oog en  $\ddot{\theta}_h$ =versnelling van het hoofd.

In sectie II is de sinusvormige versnelling als prikkel toegepast. De fase van de oogsnelheid en de hoofdsnelheid zijn met elkaar vergeleken voor verschillende frequenties. In fig. 2 staan de resultaten van de theoretische berekeningen weergegeven. De fase van de cupula-uitslag ( $\theta_c$ ) blijkt maximaal 90 graden voor te lopen. De toevoeging van de adaptatie-term resulteert in een grotere fase-voorloop van de oogsnelheid ( $\dot{\theta}_e$ ). Een fase-voorloop van meer dan 90 graden, optredend in de lage frequenties, werd bij alle proefpersonen aangetoond.

In sectie III is een langdurige, constante versnelling gebruikt. De cupula-uitslag ( $\theta_c$ ) blijkt in de periode van constante versnelling een eindwaarde te bereiken, terwijl de oogsnelheid ( $\dot{\theta}_e$ ) na een maximum afneemt (fig. 3). Dit laatste werd ook gevonden bij het onderzoek van de reacties van het VOR-systeem bij enkele gezonde proefpersonen.

Op grond van dit onderzoek kan gesteld worden dat het 2e orde model met een adaptatie-term een goede voorspelling geeft van de reacties van het vestibulo-oculaire reflex-systeem van de mens.