

Af Thomas Habekost

Fokal hjerneskade og visuel opmærksomhed

Københavns Universitet

Institut for Psykologi

Speciale, oktober 2000

Vejleder: Claus Bundesen

INDHOLDSFORTEGNELSE

Problemformulering	1
Disposition	1

DEL 1: TEORETISK BAGGRUND

1. Videnskabelig referenceramme: opmærksomhedsbegrebet i cognitive neuroscience	2
1.1. Et grundrids af opmærksomhedsbegrebets historiske baggrund	3
1.2. Cognitive neuroscience: kognition som neural informationsforarbejdning	4
1.3. Gyldighedsområder for et cognitive neuroscience perspektiv på opmærksomhed	6
2. Modeller for visuel opmærksomhed: seriel fokusering eller parallelt kapløb?	8
2.1. Opmærksomhed som forstærkning af perceptionen i et spatialt defineret fokus	8
2.1.1. Treismans feature integration teori	9
2.1.2. Posner & Petersen: den spatiale opmærksomheds neurale organisering	13
2.2. Opmærksomhed som konkurrence mellem stimuli fra hele synsfeltet	17
2.3. Opsummering og konklusion	22
3. TVA-modellen: projektets analyseramme i kritisk lys	24
3.1. TVA-modellen: grundantagelser og matematisk formalisering	24
3.1.1. Stokastisk modellering	24
3.1.2. Kategorisering og selektion i TVA	25
3.1.3. Matematisk formalisering af modellens antagelser	26
3.2. TVA-modellens berettigelse som analytisk ramme for projektet	29
4. Visuelle opmærksomhedsforstyrrelser og fokal hjerneskade: introduktion	32
5. Energetiske og strukturelle kapacitetsbegrænsninger efter hjerneskade	34
5.1. Energetiske påvirkninger: basal arousal og fysiologisk motivation	34
5.2. Strukturelle begrænsninger I: nedsat visuel forarbejdningshastighed	36
5.3. Strukturelle begrænsninger II: nedsat lagerkapacitet i VKTH	38

6. De klassiske visuelle opmærksomhedsforstyrrelser	42
6.1. Komplexiteten i det visuelle neglektsyndrom	42
6.2. Non-spatiale aspekter af visuel neglekt	47
6.3. Visuel extinction: selvstændig forstyrrelse eller del af neglektsyndromet?	48
6.4. En bemærkning om simultanagnosi	50

DEL II: DET EMPIRISKE PROJEKT

7. Det empiriske projekt: introduktion	52
7.1. Baggrund: projektet i praksis	52
7.2. Studiet i England	54
7.3. Undersøgellesprogrammet	55
7.4. Forsøgsdeltagerne	56
7.5. Generel procedure for computertestningen	59
8. Eksperiment 1: Whole report	62
8.1. Rationalet bag whole report	62
8.2. Testprocedure	63
8.3. TVA model fitting	64
8.4. Resultater og analyse	65
8.5. Sammenligning med traditionelle neuropsykologiske mål	74
8.6. Generel diskussion af whole report resultaterne	77
9. Eksperiment 2: Partial report	81
9.1. Rationalet bag partial report	81
9.2. Testprocedure	81
9.3. TVA model fitting	83
9.4. Resultater og analyse	85
9.5. Sammenligning med traditionelle neuropsykologiske mål	96
9.6. Generel diskussion af partial report resultaterne	97

10. Sensoriske kontrolopgaver: perimetri og color report	103
10.1. Computeriseret perimetri ad modum Kasten	103
10.1.1. Testprocedure	104
10.1.2. Resultater og konklusion	104
10.2. Color report	106
10.2.1. Testprocedure	106
10.2.2. TVA-analyse	107
10.2.3. Resultater og konklusion	107
11. Overordnet diskussion af projektets fund samt metodisk perspektivering	110
11.1. Casemetoden som erfaringsgrundlag i neuropsykologien	110
11.2. Opsummering af projektets fund	111
11.3. Exit: psyko-fysisk funktionsmodellering i neuropsykologien	113
Abstract	116
Litteraturliste	117

PROBLEMFORMULERING

Specialet søger overordnet at belyse, hvorledes den menneskelige visuelle opmærksomhed påvirkes af fokal hjerneskade. Der lægges vægt på kapaciteten for delt opmærksomhed, den spatiale fordeling af opmærksomheden samt effektiviteten af voluntær, fokuseret opmærksomhed. Specialet centrerer sig om forskningsprojektet ”Visuel opmærksomhed og hjerneskade”, der blev udført ved Center for Visuel Kognition i april-august 2000. Bundesens TVA-model fungerede som analytisk ramme for projektet, og specialet søger generelt at integrere normalpsykologiske teorier i studiet af hjerneskade.

DISPOSITION

Specialet omfatter to dele: en teoretisk og en empirisk. Den teoretiske del giver et overblik over det forskningsområde, der er relevant for projektet. Den empiriske del beskriver projektet og dets resultater samt diskuterer fundene i lyset af den øvrige forskning.

Kapitlerne 1-6 udgør den teoretiske del af specialet. I kapitel 1 præsenteres den overordnede videnskabelige ramme for projektet, og gyldighedsområdet for specialets konklusioner diskuteres. Kapitel 2 og 3 omhandler det normalpsykologiske forskningsområde, som projektet søger at knytte forbindelse til. I kapitel 2 diskuteres en række fremtrædende opmærksomhedsteorier. I kapitel 3 præsenteres TVA-modellen, og der argumenteres for dens berettigelse som analytisk ramme for projektet. Kapitel 4 fungerer som introduktion til de følgende to kapitler om visuelle opmærksomhedsforstyrrelser. Kapitel 5 omhandler forskningen i generelle kapacitetsnedsættelser i opmærksomhedsfunktionen, mens kapitel 6 beskriver de tre klassiske opmærksomhedssyndromer: neglekt, extinction og simultanagnosi.

Den empiriske del af specialet udgøres af kapitlerne 7-11. I kapitel 7 gives en generel beskrivelse af metodikken i det empiriske projekt. I kapitel 8 præsenteres det ene hovedforsøg i projektet, whole report, der undersøgte forsøgspersonernes kapacitet for delt opmærksomhed. Kapitel 9 omhandler partial report forsøget, der undersøgte den spatiale fordeling af opmærksomheden samt effektiviteten af den voluntære opmærksomhed. I kapitel 10 præsenteres to forsøg, der fungerede som sensoriske kontrolopgaver for de øvrige eksperimenter: perimetri og color report. I kapitel 11 gives en overordnet diskussion af projektets fund, og det vurderes, om projektets metodik har perspektiver for fremtidig neuropsykologisk forskning.

1. VIDENSKABELIG REFERENCERAMME:

OPMÆRKSOMHEDSBEGREBET I COGNITIVE NEUROSCIENCE

Akademiske opgaver indeholder ofte en kritisk overvejelse af det videnskabsteoretiske grundlag for diskussionen. I den naturvidenskabelige forskningslitteratur, som man blandt andet kan møde i denne afhandling, finder man derimod sjældent denne refleksion. Den videnskabelige proces forløber ofte relativt uforstyrret af filosofiske overvejelser. Enkelte forskere mener, at et filosofisk perspektiv på naturvidenskabelig forskning i bedste fald er irrelevant, i værste fald direkte vildledende (Naur, 1999). Den vigtigste årsag til filosofiens fravær synes dog at være en slags tavs konvention: man er enig om det videnskabsteoretiske grundlag for forskningen, og finder ikke behov for at diskutere det. Det dominerende forskningsparadigme ligger som oftest implicit i den videnskabelige praksis (Kuhn, 1996).

Denne afhandling baserer sig på et empirisk projekt og en forskningslitteratur, der helt overvejende kan kaldes naturvidenskabelig. Alligevel vil jeg lægge ud med en kort refleksion over den videnskabelige ramme, som diskussionen vil forløbe i. Ikke for at følge en akademisk tradition, men fordi jeg mener det er en nødvendig overvejelse at gøre sig; en overvejelse, der også vil få praktisk relevans i tolkningen af de empiriske resultater.

Specialeprojektet beskæftiger sig med fænomenet opmærksomhed. James (1890, pp. 403-404) hævdede i det vel mest berømte citat i opmærksomhedslitteraturen, at

Everyone knows what attention is. It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration, of consciousness are of its essence.

James talte om en dagligdags, umiddelbar erfaring, som alle i en vis forstand kender til. Taler man derimod om opmærksomhed som videnskabeligt objekt for psykologien, er det ikke længere indlysende, hvad begrebet dækker over. Opmærksomhedsbegrebet har gennem tiden haft forskellige betydninger og er også i dag opdelt i en række underkategorier som fokuseret, delt og vedvarende opmærksomhed (Perry & Hodges, 1999). For at få et overblik kan det være nyttigt med et kort overblik over begrebets baggrund.

1.1 Et grundrids af opmærksomhedsbegrebets historiske udvikling

Opmærksomhedsbegrebet er meget ældre end den akademiske psykologi. Der findes spredte referencer blandt græske og middelalderlige filosoffer (van Zomeren & Brouwer, 1994). Disse tænkere beskæftigede sig dog primært med mere generelle emner som sjæl-legeme problemet og havde ikke nogen udbyggede forestillinger om det, vi i dag forstår ved opmærksomhed. Leibniz (1646-1716) var den første filosof, der explicit diskuterede fænomenet. Leibniz mente, at "perception" ikke nødvendigvis resulterer i bevidst oplevelse, men tillige behøver "apperception" - et analogt begreb til opmærksomhed - for at erkendelsen kan nå bevidstheden. I sine "Nye essays om den menneskelige forstand" beskrev han elementære opmærksomhedsfænomener såsom det, vi i dag ville kalde voluntær og automatisk styring af opmærksomheden (Leibniz, 1765/1996).

Leibniz' "Nye essays" var formuleret i opposition til Lockes erkendelsesfilosofi, hvor sansningen i højere grad er noget *givet*: et passivt aftryk på sjælen forskelligt fra den aktive selektion, der ligger i apperceptionsbegrebet. Debatten mellem Leibniz og Locke var et tidligt udtryk for den spænding mellem rationalisme og empirisme, der kom til at definere meget af den efterfølgende diskussion om sansning, opmærksomhed og kognition i det hele taget. James (1890) indledte sin redegørelse for opmærksomhedsbegrebet med en empirismekritik, og flere af de klassiske stridspunkter kan genfindes i nutidens debatter (Gardner, 1987).

Leibniz' indflydelse ses også hos den første eksperimentalsykolog, Wundt, der tildelte apperceptionsbegrebet en central betydning. Wundts psykologi var introspektionistisk, og opmærksomhed/apperception blev defineret ved en subjektiv kvalitet: som en klarhed i den bevidste oplevelse. Fænomenologisk *intensitet* blev således fremhævet som opmærksomhedsbegrebets essens. Introspektionisterne fandt det dog vanskeligt at præcisere dette flygtige begreb, og introspektion viste sig generelt at være et uholdbart grundlag for empirisk arbejde (Gade, 1997). Omkring år 1900 var psykologien plaget af en lang række subjektivistiske definitioner af opmærksomhed uden videnskabelig anvendelighed (van Zomeren & Brouwer, 1994). Det subjektive perspektiv syntes ikke at være tilstrækkeligt som grundlag for den nye psykologiske videnskab.

I stedet blev introspektionisterne efterfulgt af behaviorister og gestaltpsykologer, der havde et radikalt andet syn på opmærksomhed. De mente simpelthen, at begrebet ikke havde nogen videnskabelig berettigelse. Behavioristerne hævdede, at psykologien måtte begrænse sig til at studere den ydre, direkte observerbare adfærd. Gestaltpsykologerne – på linje med den danske fænomenolog Edgar Rubin (1924) - opfattede perception som en funktion af den strukturelle

organisation af objekterne i synsfeltet. For begge retninger var opmærksomhed således et overflødig forklaringsbegreb i forhold til den ydre, mekaniske determinering.

Det blev dog gradvist tydeligt, at behaviorismen var for snæver til at forklare mere komplekse kognitive fænomener som sprog og tænkning (Gade, 1997). I tiden efter 2. Verdenskrig tog psykologien derfor en ny drejning, og “den kognitive revolution” satte igen indre, mentale fænomener på den videnskabelige dagsorden (for en historisk oversigt, se Gardner, 1987). Der var dog ikke tale om en tilbagevenden til den gamle introspektionisme, og psykologien vedblev at være en objektiv videnskab. I forhold til opmærksomhed var det nu ikke det subjektive intensitetsbegreb, men det mere målbare begreb *selektion*, der kom til at definere forskningen (van Zomeren & Brouwer, 1994). Det fænomenologiske førstepersonsperspektiv gled dermed i baggrunden, og man begyndte i stedet at fokusere på den *funktionelle effektivitet*, som opmærksomhed giver anledning til (van der Heijden, 1992). Specialeprojektet placerer sig indenfor denne videnskabelige ramme, og jeg vil derfor diskutere den mere indgående.

1.2. Cognitive neuroscience: kognition som neural informationsforarbejdning

Efter 2. Verdenskrig var psykologien stærkt påvirket af kommunikationsteori og den nylige opfindelse af computeren. Menneskelig kognition blev i overensstemmelse hermed opfattet som *forarbejdning af information*. Bevæbnet med denne grundlæggende model bevægede forskningen sig ind i behaviorismens “black box” og forsøgte at beskrive de kognitive processer, der forbinder stimulus med respons. Tilgangen er i dag så udbredt, at det ofte er nødvendigt højt og tydeligt at markere, hvis man *ikke* anvender den (Køppe, 1993).

Mentale repræsentationer er et centralt begreb i modelleringen (Gardner, 1987). Ideen om mentale repræsentationer er beslægtet med informationsmetaforen - taget i bred forstand - og tænkes som entiteter, der fungerer som bærere af viden rundt i det kognitive system. I modsætning til behaviorismen opererer man altså med størrelser, der ikke kan gøres til genstand for direkte observation. Dette gør dog ikke tilgangen uvidenskabelig. I en højt respekteret videnskab som partikelfysikken er man eksempelvis nødt til at forholde sig til de makroskopiske *spor*, de postulerede partikler afsætter i tågekamre. Man kan argumentere for, at de størrelser, der tænkes at give anledning til sporene (elektroner, kvarker, neutrinoer osv) i høj grad er teoriladede konstruktioner (Kuhn, 1996).

Dette er naturligvis ikke stedet at gå ind i en diskussion om videnskabsteoretisk realisme. Jeg nævner blot eksemplet for at antyde, at det er legalt for en videnskab udelukkende at forholde sig indirekte (gennem “spor”) til sin genstand. Teoriladetheden er et grundvilkår for videnskab. Det er

som oftest umuligt at nå hen til "fænomenet i sig selv". I stedet må det ses gennem en teoretisk konstruktion. Derfor er der intet uvidenskabeligt i at operere med "skjulte" størrelser som mentale repræsentationer. Dog er det naturligvis vigtigt, at de postulerede processer i sidste ende forbindes med observerbare fænomener, så teorierne kan testes empirisk.

Omkring midten af 70'erne opstod den kognitive neuropsykologi (Gade, 1997). Det kliniske studium af hjerneskade begyndte at påvirke mainstream kognitionspsykologi. Dette var dog kun begyndelsen til et nyt neuralt forskningsparadigme. I løbet af 80'erne blev metoder fra hele det neurologiske felt, inklusive PET, EEG, enkeltcellestudier osv. forbundet med den psykologiske forskning. Den teoretiske modellering blev desuden suppleret med computersimulationer, der kunne levere en principiel testning af hypoteserne. En ny tværfaglig tilgang til kognitive fænomener var opstået: *cognitive neuroscience* (Gazzaniga, Ivry og Mangun, 1998). Metaforen om mennesket som et informationsforarbejdende system blev bibeholdt, men nu komplementeret af direkte forskning i systemets "hardware": den neurale arkitektur.

Denne kombinerede tilgang har vist sig særdeles videnskabeligt frugtbar, hvilket bevidnes af den enorme udvikling i kognitions- og hjerneforskningen i de senere år. Størstedelen af den forskning, der refereres til i dette speciale, såvel som det empiriske projekt i sig selv, placerer sig indenfor den brede cognitive neuroscience ramme. Opmærksomhed opfattes således grundlæggende som et fænomen, der har at gøre med neural informationsforarbejdning. Selv om der er konsensus om denne basale antagelse inden for cognitive neuroscience, er der dog betydelig uenighed, når opmærksomhedens væsen skal specificeres nærmere. Foreløbig vil jeg henvise til kapitel 2, som indeholder en længere diskussion af dette spørgsmål.

Der kan næppe herske tvivl om, at cognitive neuroscience paradigmet i øjeblikket er det mest empirisk anvendelige i kognitionspsykologien. Netop fordi der er tale om et så udbredt syn på menneskets kognition, er det dog vigtigt at påpege dets begrænsning. Det er allerede blevet fremført, at førstepersonsperspektivet, de subjektive sider af bevidsthedslivet, vanskeligt kan omfattes af cognitive (neuro-) science. Selv om bevidsthedsbegrebet indgår i forskernes common sense forståelse af opmærksomhed, fokuserer man i den videnskabelige proces på opmærksomhedens funktionalitet, ikke dens fænomenologi. Dette var formentlig nødvendigt for at gøre opmærksomheden til genstand for videnskab, men udgør i mine øjne alligevel en erkendelsesmæssig mangel.

Der kan også fremhæves andre grundlæggende problemer, især med ideen om mentale repræsentationer. Mammen (1989) hævder, at det er forkert at tale om kognition som noget, der

foregår inde i en person. I stedet mener han, at kognition manifesteres i den ydre, praktiske livsvirksomhed. Vi perciperer ikke vore indre repræsentationer af omverdenen, for dette ville implicere en uholdbar homunculusmodel: hvem skulle i så fald percipere perceptionen? I stedet perciperes verden "direkte" (Gibson, 1979). Teorien om direkte perception har filosofiske fortrin, primært i forhold til homunculusproblemet, men er blevet kritiseret for at undervurdere den komplekse opgave, det er at se (Fodor & Pylyshyn, 1981). Til dette kan anføres, at Gibsons teori faktisk har givet anledning til vigtige empiriske fund, og må anerkendes som en god model for ihvertfald visse aspekter af synet (Gardner, 1987).

Efter min opfattelse er den vigtigste lære af Mammens og Gibsons kritik, at man skal være varsom med at absolutere modellen om informationsforarbejdning. Der er tale om en forskningsmæssigt nyttig *metafor* for menneskelig kognition, ikke nødvendigvis om en gyldig beskrivelse i universel, ontologisk forstand. Cognitive neuroscience paradigmet kan måske først og fremmest siges at have en *pragmatisk* berettigelse (van der Heijden, 1992). Dette implicerer imidlertid, at der er områder, hvor denne pragmatiske anvendelighed hører op.

1.3. Gyldighedsområder for et cognitive neuroscience perspektiv på opmærksomhed

En principiel begrænsning i cognitive neuroscience er, at de kognitive processer beskrives på et subpersonligt niveau. Man opererer med delsystemer i det psykiske apparat såsom arbejdshukommelsen, men ikke med personen som en helhed. Dette giver en høj grad af analytisk specificitet, som er meget nyttig i empirisk forskning. Imidlertid er der visse aspekter af den menneskelige kognition, der kun kan beskrives på det overordnede personniveau.

I relation til opmærksomhed kan den *voluntære eksploration* fremhæves. De fleste perceptions- og opmærksomhedsprocesser forløber helt automatisk eller "mekanisk", især når processerne anskues i en tidsskala på brøkdele af sekunder. Vores opmærksomhed fanges ustandselig af ting, vi ikke synes at have nogen indflydelse på. Perception er for denne betragtning en passiv proces. Imidlertid er det vigtigt at huske på, at opmærksomhedens retning i et større tidsperspektiv er afhængig af en person, der opstiller nogle mål for sin færd. "My experience is what I agree to attend to" siger James (1890, p. 402), og fremhæver videre, at det i sidste ende er personens aktive *interesse*, der bestemmer opmærksomhedens genstand. En forståelse af denne interesse kræver potentielt en referenceramme, der er meget vid; også videre end det enkelte individ (se for eksempel Bronfenbrenner, 1979). Når man anlægger et sådant makroperspektiv på perceptionsprocesserne, kan der argumenteres for, at perception i lige så høj grad er en aktiv som en passiv proces. Det højt

kontrollerede laboratoriekksperiment, hvor man netop søger at eliminere den aktive eksploration, er som følge af dette blevet kritiseret for at mangle "økologisk validitet" (Neisser, 1976).

Mens dette for så vidt er en relevant kritik, ville det dog være en grov misforståelse at kaste vrag på laboratorieforskningen. Blot skal man være bevidst om forskningsmetodens *gyldighedsområde*. Laboratorieforskningen afdækker de basale perceptuelle mekanismer, som personen har til rådighed i sin aktive eksploration. Personen som sådan karakteriseres derimod ikke. Laboratorieforskningen giver således ikke hele forklaringen på opmærksomhedsfænomenet, men dog et naturligt udgangspunkt.

Den empiriske undersøgelse tilknyttet dette speciale har undersøgt nogle af disse basale mekanismers påvirkelighed af hjerneskade. Hvorvidt dette kaster lys over patienternes opmærksomhedsfunktion i mere livsnær forstand, er et spørgsmål, der strengt taget falder uden for specialeprojektets rammer. Det er dog næppe tænkeligt, at en person vil opleve et problemfrit dagligliv, samtidig med at han/hun i en laboratoriesituation udviser betydelige perceptuelle deficits. Præcis hvordan forstyrrelsen manifesteres i dagligdagen er et interessant spørgsmål, der imidlertid kunne danne basis for en selvstændig afhandling.

2. MODELLER FOR VISUEL OPMÆRKSOMHED: SERIEL FOKUSERING ELLER PARALLELT KAPLØB?

I første kapitel præsenteredes den overordnede videnskabelige ramme, som specialeprojektet placerer sig i. I dette og det følgende kapitel vil jeg nærme mig sagen yderligere og beskrive de normalpsykologiske modeller for visuel opmærksomhed, som projektet kan relatere sig til.

Diskussionerne om visuel opmærksomhed har traditionelt været domineret af dikotomier som tidlig vs. sen selektion og parallel vs. seriel forarbejdning (Allport, 1993). Særligt den sidste problematik kan genfindes i den diskussion, der aktuelt synes mest central i opmærksomhedsforskningen. Debatten står mellem den etablerede klasse af modeller, der anskuer opmærksomheden som knyttet til et spatialt fokus, og en række "udfordrere", der betragter opmærksomhedsprocesserne som resultatet af et parallelt kapløb mellem stimuli fra hele synsfeltet (for en aktuel samling af debatindlæg, se Humphreys, Duncan og Treisman, 1999). I dette og det følgende kapitel vil jeg gennemgå denne diskussion, og søge at relatere den til den mere specifikke problematik i afhandlingen. Specielt er det af interesse at få belyst, hvorledes Bundesens TVA-model, der er den valgte analyseramme for det empiriske projekt, placerer sig i diskussionen.

2.1. Opmærksomhed som forstærkning af perceptionen i et spatialt defineret fokus

Opmærksomheden er historisk blevet sammenlignet med en lyskegle; et slags indre øje, der udvælger ét bestemt udsnit af den fysiske omverden. Metaforen har måske rod i den subjektive erfaring, at delt opmærksomhed er en vanskelig sag (James, 1890). Endvidere er visuel opmærksomhed sædvanligvis forbundet med, at øjnene fikserer på et objekt. Dette har sikkert også bidraget til forestillingen om opmærksomheden som et slags centralt fokus.

Lyskeglemetaforen for opmærksomhed er i sin moderniserede, neurobiologiske udgave stadig den dominerende (Desimone, 1999). Den visuelle opmærksomhed tænkes i denne model at fungere ved forstærkning af aktiviteten fra de neuroner, der repræsenterer stimuli i en udvalgt del af synsfeltet (Posner & Dehaene, 1994). Opmærksomheden har ét fokus, der er rent spatialt defineret (Posner, 1980). Dette fokus tænkes at kunne flyttes meget hurtigt fra lokation til lokation; en seriel proces, der blot anslås at kræve få snese millisekunder (Treisman, 1999).

Støttet af empiriske fund (Ward, 1982; Murphy & Eriksen, 1987) opererer flere nyere versioner af modellen med et skalerbart fokus (for eksempel Treisman, 1999), således at det er mere

korrekt at tale om en “zoomlinse” end en lyskegle. Ideen om et spatialt defineret fokus er dog den samme. Der eksisterer forskellige udgaver af denne model, som traditionelt har haft en dominerende placering i opmærksomhedsforskningen. I det følgende vil jeg præsentere de vigtigste teorier.

2.1.1. Treismans feature integration teori

Treismans feature integration teori (FIT) er måske den mest indflydelsesrige teori inden for klassen af zoomlinsemodeller. Teorien blev fremsat i en klassisk artikel af Treisman & Gelade (1980), men er siden modificeret (Treisman & Sato, 1990). Som udgangspunkt for diskussionen vil jeg dog præsentere teorien i dens oprindelige form, og først bagefter beskæftige mig med den kritik og de korrektioner, der er fremført i 80erne og 90erne.

Teoriens udvikling skal ses på baggrund af neurofysiologiske fund i 60erne og 70erne. En lang række undersøgelser havde peget på en udpræget modulær forarbejdning af de forskellige dele af synsindtrykket (se Cowey, 1985 og Zeki, 1993 for historiske oversigter). For eksempel stod det nu klart, at opfattelsen af enkeltkvaliteter som farve, form og bevægelsesretning afhænger af separate dele af ekstrastriat cortex. Til dato er der identificeret mindst 30 sådanne separate visuelle områder (Felleman & Van Essen, 1991). “The binding problem” blev som følge af dette højaktuelt i synsforskningen: hvorledes integreres alle disse separate kvaliteter til den helhed, vi kender fra vores bevidste oplevelse?

FIT foreslår opmærksomheden som den integrerende mekanisme. Enkeltkvaliteter i synsindtrykket (features) antages at blive opfanget automatisk/preattentivt og lagret parallelt i ovennævnte moduler rundt om i hjernen. Lagringen er retinotopisk, således at alle modulerne repræsenterer omverdenen i samme strukturelle format, i en slags spatiale kort over omverdenen (feature maps). I farvemodulets kort er hver retinale position forbundet med enten rød, grøn, blå osv., mens det i bevægelsesmodulets kort er kvaliteter som opad, udad og mod venstre, der repræsenteres i hver position.

Opmærksomhedens funktion er at sammenbinde de forskellige features til samlede repræsentationer af objekter. Dette sker ved, at opmærksomhedens spatiale fokus (jvf. zoomlinsemetaforen) rettes mod en bestemt del af omverdenen, svarende til en bestemt position på de spatiale kort rundt om i modulerne. Alle features, der ligger indenfor dette område, sammenbindes og tilskrives ét objekt. Denne objektrepræsentation sammenlignes med repræsentationer af kendte objekter i langtidshukommelsen, og en eventuel genkendelse finder sted. Det spatiale fokus kan derefter flyttes, og features sammenbindes til det næste objekt. Der

genkendes altså kun ét objekt ad gangen, men fokus tænkes at kunne flytte sig så hurtigt rundt, at det ikke giver anledning til problemer.

Endvidere kan features fra objekter uden for opmærksomhedens fokus sammenbindes ved en slags kvalificerede gæt, der bygger på tidligere erfaringer. For eksempel behøver vi ikke at rette opmærksomheden mod en banan for at sammenbinde dens gule farve med dens buede form; de to features plejer jo at optræde sammen. Da vores fysiske omverden i det hele taget udviser en stor grad af regularitet, går den automatiske sammenbinding som regel godt.

Ved uvante objekter er der dog en stor fare for "illusory conjunctions": falske sammenbindinger, hvor features fra ét objekt fejlagtigt tilskrives et andet. Sådanne falske sammenbindinger er påvist i flere undersøgelser blandt både normale (Treisman & Schmidt, 1982; Treisman & Paterson, 1984) og hjerneskadede (Cohen & Rafal, 1991; L. Robertson, Treisman, Friedmann-Hill og Grabowecky, 1997). De falske sammenbindinger synes at være forbundet med en mangelfuld fokusering af opmærksomheden (Treisman, 1996; 1999), selv om der er en vis uenighed om denne tolkning (Tsal, Meiran og Lavie, 1994; van der Heijden, 1995). Fænomenet regnes dog almindeligvis som en af støttepillerne for FIT.

Det vigtigste eksperimentelle paradigme for teorien er imidlertid visuel søgning. Forsøgspersonen skal her prøve at finde et relevant objekt (target) blandt en samling irrelevante (distraktorer). Forsøgspersonen skal så hurtigt som muligt rapportere søgningens resultat med et tryk på en knap: enten "ja", hvis target findes, eller "nej", hvis der kun findes distraktorer i stimulusmaterialet. Reaktionstiden på denne dom er den afhængige variabel i forsøget (tillige med antallet af fejl). Antallet af distraktorer samt egenskaber i stimulusmaterialet (såsom form og farve) varieres for at undersøge, om reaktionstiden påvirkes på systematisk vis af disse manipulationer.

Ifølge feature integrations teorien vil der ved to bestemte opgaver opstå interessante reaktionstidmønstre. I den ene type opgave (conjunction search) kan targets kun adskilles fra distraktorer ved en samtidig vurdering af mindst to features. Dette er for eksempel tilfældet, når et grønt T skal findes blandt brune T'er og grønne X'er. Søgningen kræver altså sammenbinding af features ved hvert enkelt element, og dermed opmærksomhed ifølge FIT. Søgningen blandt elementerne i stimulusfeltet forudsiges derfor at foregå serielt, og reaktionstiden dermed stige lineært med antallet af elementer i synsfeltet. Desuden forudsiger teorien, at hældningen på denne lineære kurve vil være dobbelt så stejl ved nej-svar som ved ja-svar. Dette skyldes, at forsøgspersonen ved ja-svar gennemsnitligt kun behøver at gennemsøge halvdelen af stimulusmaterialet, før et target findes (self-terminating search; Townsend & Ashby, 1983). Ved

nej-svar er det derimod nødvendigt at gennemse hele stimulusmaterialet for at sikre sig, at ingen targets er til stede (exhaustive search; *ibid.*).

I den anden type opgave (disjunction search) kan targets skilles fra distraktorer på basis af en enkelt feature. Dette er for eksempel tilfældet, når et blå T skal findes blandt grønne X'er og røde T'er. Ifølge teorien kræver denne søgning ikke sammenbinding af features (og dermed opmærksomhed på hvert enkelt element) og kan foregå parallelt. Target træder umiddelbart frem fra baggrunden (pop-up fænomenet), og reaktionstiden er upåvirket af antallet af elementer.

Disse forskellige forudsigelser om visuel søgning blev generelt bekræftet i den oprindelige række forsøg (Treisman & Gelade, 1980). Dog var der det overraskende fund, at der ved "nej"-svar i disjunction search var en betydelig stigning af reaktionstiden med antallet af distraktorer. Dette forklaredes ved, at forsøgspersonerne begyndte at gennemse materialet serielt, hvis de ikke umiddelbart (altså ved parallel søgning) fandt et relevant objekt.

FIT giver en enkel løsning på the binding problem, og kan pege på støtte fra en række forskellige eksperimentelle paradigmer. Teorien har da også været særdeles indflydelsesrig (van der Heijden, 1993). Der er dog siden påpeget problemer, der har ført til revision af teorien. For det første kan der fremføres den principielle indvending, at der ofte kan konstrueres en parallel model med samme observerbare adfærd som en seriel model (Townsend & Ashby, 1983). Treismans tolkning af de oprindelige forsøg er således ikke den eneste mulige. For eksempel kan resultaterne fra conjunction search også forklares med en model, hvor søgning beskrives som parallel indenfor lokale grupper af elementer, men seriel imellem disse grupper (Bundesen, 1990; 1999).

Der har også vist sig andre problemer. Duncan & Humphreys (1989) påviste, at når man systematisk varierer graden af lighed mellem stimuli, får man reaktionstidskurver for søgningen, der ikke tyder på et absolut skel mellem (hurtige) parallelle og (langsomme) serielle processer. Treisman (1991) anerkender betydningen af disse "lighedseffekter", omend hun mener, at det tillige er nødvendigt at regne med en distinkt, seriel proces for at forklare sammenbinding af features.

Også Wolfe, Cave og Franzel (1989) fandt søgeprocesser, der ikke svarede til FITs forudsigelser. Conjunction search skulle ifølge teorien altid foregå serielt, men Wolfe et al. viste, at en sådan søgning i nogle tilfælde kan foregå ved parallelle processer. Disse resultater var så overbevisende, at også Treisman tog dem til sig, og reviderede sin teori (Treisman & Sato, 1990). Resultatet blev en slags hybridmodel, hvor den serielle søgningsmekanisme ikke står alene, men

komplementeres af en parallel mekanisme, med Wolfe et al.s (1989) ord: “guided search”¹. Dette vil sige, at den serielle søgning ikke bevæger sig tilfældigt rundt gennem stimulusmaterialet, men tiltrækkes af “target-kandidater”, som den parallelle proces udpeger. Udvælgelsen sker probabilistisk: elementer, der har særligt mange features til fælles med target, vil have større sandsynlighed for at påkalde sig den serielle opmærksomheds fokus. En tre-dobbelt konjunktion skulle således kunne findes hurtigere end en almindelig dobbelt, hvilket blev bekræftet empirisk af Wolfe et al. (1989).

Der er dog nyligt kommet en empirisk udfordring til FIT, der synes vanskeligt forenelig med grundlæggende antagelser i teorien. Det drejer sig om specielle eksperimenter over tidsforløbet i opmærksomhedsprocessen, nærmere bestemt varigheden af “opmærksomhedens blink” (Raymond, Shapiro og Arnell, 1992; Duncan, Ward og Shapiro, 1994). Opmærksomhedens blink betegner det fænomen, at identifikationen af en stimulus forstyrrer opfattelsen af en ny stimulus i en efterfølgende tidsperiode. Treismans serielle opmærksomhedsmodel forudsiger, at dette blink er meget kortvarigt, men dette synes ikke at finde støtte i empirien. Fænomenet er blevet en af støttepillerne for de parallelle “konkurrencemodeller” for opmærksomhed, og jeg vil derfor vente med at behandle emnet yderligere til afsnit 2.2.

2.1.2 Posner & Petersen: den spatiale opmærksomheds neurale organisering

Mens Treisman i nyere artikler (1996, 1999) også gør sig overvejelser om det neuroanatomiske grundlag for opmærksomheden, findes der andre udgaver af zoomlinsemodellen, der er mere udbyggede på dette punkt. Blandt de mest indflydelsesrige af disse neuroanatomiske teorier er Posner & Petersens. Den vigtigste formulering af teorien findes i Posner & Petersen (1990). Denne artikel sammenfatter både læsionsstudier (Posner, Walker, Friedrich og Rafal, 1984; Posner, Walker, Friedrich og Rafal 1987) og PET-studier (Petersen, Robinson og Morris, 1987).

I lighed med andre moderne neuropsykologiske teorier opfatter Posner & Petersen hjernen som organiseret i netværk af undersystemer (se også Mesulam 1981, 1990; Goldman-Rakic, 1988). Netværksmodellen indebærer en antagelse om, at komplekse kognitive funktioner - in casu visuel opmærksomhed - udføres i et samarbejde mellem distinkte hjernedele, der udfører hver deres nødvendige deloperation. Visuel opmærksomhed er således hverken en funktion af hele hjernen

¹ Treisman taler i stedet om “feature inhibition”, og der er visse nuanceforskelle til Wolfe et al.s teori. Kombinationen af en parallel og en seriel søgemekanisme er dog den samme.

eller en enkelt struktur, men af en sammenkobling mellem bestemte hjernestrukturer. Denne måde at opfatte hjernen på har nyligt fået stærk støtte fra PET og fMRI-eksperimenter, hvor komplekse funktioner ofte er forbundet med aktivitet i distribuerede netværk af hjernesystemer (se for eksempel Haxby, Petit, Ungerleider og Courtney, 2000; Hopfinger, Buonocore og Mangun, 2000). Det skal bemærkes, at netværksmetaforen i modsætning til konnektionistiske modeller ikke refererer til (mikro-) strukturer på cellulært plan, men til mere makroanatomiske systemer som pulvinarkernen i thalamus eller colliculus superior.

Posner & Petersen foreslår tre netværk med betydning for visuel opmærksomhed. De tre netværk er på et mere overordnet plan også indbyrdes forbundne og kan påvirke hinandens funktion.

Det første af disse er det *posteriore netværk*, der er kritisk for orientering af opmærksomhedens fokus mod visuelle lokationer. Et eksempel på denne orientering kan være, når opmærksomheden tiltrækkes af et pludseligt opdukket objekt i synsfeltets periferi. Orienteringen mod objektet vil normalt være synlig (overt) og involvere hoveddrejning og fiksering med øjnene. Den kan dog også være skjult (covert), som når forsøgspersoner instrueres om at fastholde øjnene på et centralt placeret punkt, selv om deres opmærksomhed rettes mod perifere stimuli. Den synlige orientering kræver, at motoriske strukturer i frontallapperne involveres, mens den skjulte orientering kun kræver posterior aktivitet.

Det posteriore netværk omfatter den superiore del af parietallappen, der *løsriver* opmærksomhedens spatiale fokus fra en lokation, colliculus superior, der *flytter* fokus, og pulvinarkernen i thalamus, der *engagerer* opmærksomheden i en ny lokation. Teorien bygger blandt andet på spatiale cueing eksperimenter med hjerneskadede, der havde selektive læsioner i de nævnte tre områder.

I det mest kendte forsøg (Posner et al., 1984) skulle patienter med unilateral parietal skade reagere så hurtigt som muligt på en target-stimulus. De blev forinden cue'et mod en bestemt lokation ved et kort lysglimt på stedet. De måtte dog ikke flytte øjnene til lokationen, og opmærksomhedens fokus var således "skjult". I 80% af tilfældene var cueingen gyldig: target-stimulus dukkede op samme sted som lysglimtet. Reaktionen var i dette tilfælde hurtigere på ipsilæsonale end på kontralæsonale stimuli, men der var ikke nogen stor forskel. I 20% af tilfældene var cueingen imidlertid ugyldig, og target-stimulus dukkede op i den modsatte side af synsfeltet. Hvis man forestiller sig opmærksomheden som et fokus rettet mod den cuede lokation, skulle dette fokus altså "løsrives" og flyttes til den anden side. Når fokus skulle flyttes til det kontralæsonale felt så man en uforholdsmæssigt lang reaktionstid blandt de parietalskadede

patienter. Posner et al. tolkede resultatet således, at disse patienter havde specifikke problemer med at løsrive opmærksomheden fra ipsilæsonale stimuli og flytte fokus over i det kontralæsonale felt. Opmærksomheden blev "fanget" i patientens "gode" side (for en yderligere udbygning af denne tese, se Rafal, 1998). Lignende eksperimenter med hjerneskadede underbygger hypoteserne om pulvinars og colliculus superioris specifikke funktioner (Posner & Petersen, 1990).

Efter præsentationen i 1990 har Posner & Petersens teori fået støtte fra PET-eksperimenter. To af disse viste selektiv aktivering af den superiore del af parietallappen ved spatiale opmærksomhedsskift (Corbetta, Miezin, Shulman og Petersen, 1993; Corbetta, Shulman, Miezin og Petersen, 1995). Aktiveringen var endvidere asymmetrisk, således at venstre hemisfære stort set kun var aktiv ved opmærksomhedsskift i højre synsfelt, mens højre hemisfære var involveret ved skift i begge synsfelter. Observationen er forenelig med en kendt teori om visuel neglekt (Mesulam, 1981, 1990) hvor netop denne asymmetri bruges som forklaring på lidelsens relation til højre-hemisfære skade. Jeg vil vende tilbage til neglektdiskussionen i kapitel 6.

Nyere billeddannende studier tyder imidlertid på, at der ikke er nogen generel lateraliseret styring af opmærksomheden i parietallappen. I et PET-forsøg af Vandenberghe et al. (1997) fandt man ikke nogen relation mellem unilateral parietal aktivitet og opmærksomhed i det modsatte synsfelt. Hopfinger et al. (2000) fandt i et fMRI-studie heller ikke tegn på, at hver parietallap varetager opmærksomheden i det modsatte synsfelt. Det er i stedet blevet foreslået, at den højre parietallap har en speciel funktion i forhold til *reorientering* af opmærksomheden mod lokationer, hvor der ikke forventes en stimulus (Corbetta, Kincade, Ollinger, McAvoy og Shulman, 2000).

Det er dog ikke givet, at denne reorientering fungerer ved en løsrivelse af et serielt opmærksomhedsfokus. Cohen et al. (1994) konstruerede et parallelt forarbejdende netværk, der kunne efterligne resultaterne fra Posner et al. (1984) - uden at der var en separat struktur i netværket, der udførte løsrivelses-operationen. Resultaterne er også blevet forklaret inden for en anden parallel model for opmærksomheden: TVA-teorien (Bundesen, 1998).

Pellegrino, Basso og Frasinetti (1997) rapporterede endvidere om et resultat, der synes uforeneligt med hypotesen om en seriel løsrivelse af opmærksomhedens fokus. Pellegrino et al. undersøgte en patient med *extinction*: patienten kunne kun opfatte en stimulus i det kontralæsonale synsfelt, når den optrådte alene - ikke når der samtidigt var stimulering af det ipsilæsonale felt. Extinction testes normalt med simultan stimulation, men i dette studie blev de to stimuli præsenteret asynkront. Posner & Petersens teori forudsiger, at extinction kun vil optræde, når stimulus i det "gode", ipsilæsonale felt kommer først og "fanger" opmærksomheden. Kommer den kontralæsonale stimulus først, skulle der derimod ikke være noget problem med først at opfatte

denne og bagefter flytte opmærksomheden til det ipsilæsonale synsfelt. Pellegrino et al. fandt dog ikke en sådan forskel: extinction optrådte uafhængigt af den rækkefølge, stimuli blev præsenteret i. Resultatet er næppe foreneligt med Posner & Petersens teori, men passer derimod fint med en alternativ model for opmærksomhedsprocesserne, som jeg vil vende tilbage til i næste afsnit.

I.H. Robertson & Manly (1999) konkluderede, at Posner & Petersens hypotese om den posteriore parietallap som et overordnet system til dirigering af spatial opmærksomhed ikke er tilstrækkeligt underbygget. Særligt har ideen om, at hver parietallap styrer opmærksomheden i det kontralaterale felt, ikke fundet støtte i nyere forskning. Det synes dog rimeligt plausibelt, at den højre inferiore parietallap er kritisk for reorientering af opmærksomheden. Denne reorientering er imidlertid ikke nødvendigvis et spatialt fænomen, og behøver ikke opfattes som en seriel bevægelse af et fokus rundt i synsfeltet.

Posner & Petersen foreslog også et *anteriort netværk* med betydning for den voluntære styring af opmærksomheden. Dette netværk er tæt knyttet til det posteriore system, hvor orienteringsmekanismerne tænkes at operere automatisk og stimulusbundet. Det anteriore netværk giver derimod mulighed for at dirigere opmærksomhedens fokus ud fra indre, viljesmæssige kriterier snarere end ydre faktorer (se Schneider & Shiffrin (1977) for en klassisk formulering af denne ide).

Det anteriore netværk er ifølge Posner & Petersen dårligere anatomisk kortlagt end det posteriore, men basal ganglierne og gyrus cingularis foreslås som centrale strukturer (Posner & Dehaene, 1994). Gyrus cingularis har tætte anatomiske forbindelser til både dorsolateral prefrontal cortex (og dermed arbejdshukommelsen, der kan holde information "on-line"; Goldman-Rakic, 1992) og den posteriore parietallap (det posteriore netværk for opmærksomhed). I kraft af disse forbindelser antages gyrus cingularis at sidde i toppen af et kontrolhierarki for dirigering af opmærksomhedens fokus (se også Gazzaniga, Ivry og Mangun, 1998).

Selv om funktionen af de forskellige frontale strukturer stadig behøver uddybning, synes selve ideen om et anteriort opmærksomhedsnetværk at have klaret sig godt i 90ernes forskning (I.H. Robertson & Manly, 1999). Der er dog sandsynligvis tale om andre relevante strukturer end de, Posner & Petersen fremhævede. Funktionen af gyrus cingularis er stadig omdiskuteret. Strukturen synes mere at have at gøre med overordnet responsselektion og emotionsregulering (Devinsky, Morell og Vogt, 1995; Bush, Luu, og Posner, 2000) eller arousal (Paus et al, 1997) end egentlig opmærksomhedskontrol. Derimod er der tegn på, at områder i den superiore frontallap, omkring

frontal eye fields, er direkte involverede i top-down styring af opmærksomheden (Hopfinger et al., 2000).

Posner & Petersens tredje og sidste netværk foreslås som vigtigt for evnen til at fastholde en opmærksomhedstonus over længere tid (to remain *alert*). Posner & Petersen beskriver ikke netværket i nærmere anatomiske detaljer, men mener dog, at det er kritisk afhængigt af højre hemisfære, særlig den prefrontale del. Dette har blandt andet at gøre med norepinefrin-systemet, der er vigtigt for arousal og angiveligt særligt udbygget i denne del af hjernen. Funktionen er dog også afhængig af et subkortikalt arousal system. Den højre hemisfære kan således betragtes som en modulator af den mere basale arousal/alertness, der stammer fra dybere strukturer i hjernen (se kapitel 5 for en nærmere beskrivelse af denne interaktion).

Robertson & Manly (1999) mener, at dette er det bedst underbyggede af Posner & Petersens tre foreslåede netværk. Særligt har det vist sig, at den højre frontale korteks er vigtig for monotone opgaver, der kræver en langvarig mobilisering af opmærksomheden (Coull, Frith, Freckowiak og Grasby, 1996; Paus et al., 1997).

Højre hemisfæres specielle rolle i arousal/alertness har ledt til en alternativ opfattelse af neglektsyndromet: at der ikke blot er tale om en unilateral forstyrrelse af spatial opmærksomhed, men også om *non-spatiale* processer såsom nedsat arousal (Robertson & Manly, 1999), nedsat forarbejdningshastighed (Husain, Shapiro, Martin og Kennard, 1997) og reduceret bilateral perceptuel kapacitet (Duncan et al., 1999). Neglektsyndromet bliver som sagt mere grundigt behandlet i kapitel 6; her skal eksemplet blot nævnes for at problematisere de teorier, der betragter opmærksomheden som noget udelukkende spatialt.

Vi har nu set på to fremtrædende repræsentanter for den spatiale zoomlinse-model for visuel opmærksomhed. Zoomlinse-modellen har været så dominerende, og virket så intuitivt indlysende, at den i flere lærebøger nærmest tages for givet som metafor for opmærksomheden (for eksempel i van Zomeren & Brouwer, 1994). Den foregående diskussion har dog flere gange antydnet, at der findes et vigtigt alternativ til den; et alternativ, som i de senere år er blevet fremført med forøget tyngde. Det skal vi nu se nærmere på.

2.2. Opmærksomhed som konkurrence mellem stimuli fra hele synsfeltet

Desimone & Duncan præsenterede i 1995 en teori om opmærksomheden, der er radikalt forskellig fra zoomlinsemodellen: teorien om ”biased competition”. Opmærksomheden beskrives i denne teori

som et *emergent resultat* af en konkurrence mellem stimuli fra hele synsfeltet. Features tilhørende samme objekt støtter hinanden indbyrdes i konkurrencen, og medfører over tid en konvergens, hvor features fra "stærke" objekter dominerer perceptions-netværket. På denne måde selekterer konkurrencen enkelte objekter til bevidst opfattelse og kontrol af adfærden. Denne konkurrencemekanisme *er* selve opmærksomhedsfunktionen.

Teorien er inspireret af en række tidligere parallelle modeller for opmærksomhed, der også opererer med en konkurrencemekanisme. I Phaf, van der Heijden og Hudson (1990) præsenteredes et parallelt forarbejdende netværk, der kunne efterligne menneskelige præstationer på opmærksomhedstest som Stroop og visuel søgning. Netværket indeholdt en lignende konkurrencemekanisme som ovenfor beskrevet til at samordne den parallelle aktivitet. Dette gav et slags eksistensbevis for, at sådanne mekanismer kan fungere, og derfor også kan være baggrunden for menneskelig opmærksomhed. En anden inspiration for Duncan & Desimones teori er Bundesens TVA-model (1990), der i sig selv er en videreudvikling af tidligere konkurrencemodeller (Bundesen, 1987; Shibuya & Bundesen, 1988). Jeg vender tilbage til TVA-modellen i kapitel 3.

Kinsbournes teori om "opponent-processorer" (1993) i hjernen er også en vigtig baggrund for Duncan & Desimones teori. I Kinsbournes teori, der i høj grad bygger på studier af unilateral hjerneskade, beskrives hjernens funktion som afhængig af undersystemer i indbyrdes konkurrence om kontrol over adfærd og bevidsthed. Kinsbourne fokuserede på de to hemisfærers interaktion, mens Duncan & Desimone opfatter konkurrence mellem delsystemer som et mere generelt fænomen i hjernen.

Teorien om biased competition er i let forskellige formuleringer præsenteret i en række artikler i senhalvfemserne (Desimone & Duncan, 1995; Duncan, 1996; Duncan, Humphreys og Ward, 1997; Duncan, 1999; Desimone, 1999). Jeg vil her tage udgangspunkt i Desimones artikel fra 1999, hvor der opstilles fem teser om den visuelle opmærksomheds funktion:

- 1) *Objekter i synsfeltet konkurrerer om aktiviteten i kortikale celler.* For eksempel medfører to samtidigt præsenterede objekter i første omgang en parallel aktivitet i forskellige neuronpopulationer. Denne aktivitet vil dog have en tendens til at virke gensidigt hæmmende. Den objektrepræsentation, hvis aktivitet er stærkest, kan efter et stykke tid helt overtage kontrollen med netværket, og eliminere den anden repræsentation.

- 2) *Konkurrencen mellem objektrepræsentationer er stærkest, når objekterne aktiverer celler i samme lokale region af korteks.* En sådan aktivering er typisk ensbetydende med, at objekterne falder indenfor det samme receptive felt i de enkelte neuroner. Befinder objekterne sig derimod i hver sin side af synsfeltet, er deres interaktion mindre, da der i så fald vil være færre neuroner, hvor objekterne konkurrerer om de samme receptive felter.
- 3) *Konkurrencen kan være "biased" som følge af mange forskellige mekanismer.* Der findes ikke noget centralt system for kontrol af opmærksomheden, der afgør hvilke objekter, der skal have en konkurrencemæssig fordel. I stedet er både "bottom-up" og "top-down" mekanismer relevante. Eksempler på bottom-up påvirkning af opmærksomheden kan være uvante, farvestærke eller bevægelige stimuli. En top-down påvirkning kan være en målrettet søgning efter et bestemt objekt, som aktuelt er vigtigt for organismen.
- 4) *Bias er ikke udelukkende spatial.* Andre kvaliteter som farve, form osv. kan også være betydende for, om et objekt selekteres. Hermed adskiller teorien sig fra zoomlinsemodellen i sin rene, spatiale form.
- 5) *Arbejdshukommelses-mekanismer i prefrontal korteks udgør et af de vigtigste bidrag til top-down bias i den ventrale bane².* Ved top-down styret søgning efter et bestemt target kan en skabelon (template) af objektet holdes aktiv i arbejdshukommelsen. Skabelonen holdes klar til sammenligning med de objekter, der perciperes. Neurofysiologisk tænkes dette afspejlet i en forhøjet baseline fyringsrate af de neuroner i den ventrale bane, der er receptive for netop target-objektet.

Vi har altså at gøre med en model, der er temmelig forskellig fra de, der præsenteredes i afsnit 2.1. Neuroanatomisk er der tale om et meget distribueret syn på opmærksomhedsfunktionen, hvor mange forskellige hjernesystemer kan yde indflydelse. Der er ikke nogen centrale mekanismer med kontrol over et serielt fokus, men derimod mange parallelle mekanismer, der afhængig af omstændighederne hver især kan påvirke selektionsprocessen. De enkelte systemer opererer dog ikke mere parallelt, end at deres aktivitet samordnes ved en gensidig hæmning, der over tid udvælger nogle få aktivitetsmønstre (eventuelt kun et enkelt) til at dominere netværket.

² den ventrale bane i synssystemet løber fra prestriate områder mod temporallappen og varetager objektgenkendelse: se Ungerleider & Mishkin (1982) og Milner & Goodale (1995).

Der er fremført en betydelig mængde evidens til støtte for modellen, både fra det neurofysiologiske, det kognitionspsykologiske og det neuropsykologiske område (Desimone, 1999). Den måske mest direkte støtte kommer fra enkeltcellestudier. Her har man blandt andet undersøgt neuroner i makakabers infero-temporale kortex (IT). IT-kortex er et høj-niveau område i synssystemets ventrale bane, hvor neuronerne udviser selektivitet over for komplekse objekter såsom hænder og ansigter (Desimone, 1991). Området er kritisk for objektgenkendelse og kan føre til visuel agnosi ved beskadigelse (Farah, 1990).

Chelazzi, Miller, Duncan og Desimone (1993) satte nogle makakaber til at søge efter et bestemt objekt, mens aktiviteten i udvalgte IT-celler blev målt. Hver IT-celle var selektivt responsiv over for et bestemt objekt, der enten kunne være target eller distraktor i forsøget. Efter at aberne havde fået at vide, hvilket objekt der var target, gik der et stykke tid, før de blev præsenteret for selve søgematerialet. Med andre ord skulle de holde targetobjektet aktivt i arbejdshukommelsen, mens de ventede (det klassiske delayed response paradigme; Goldman-Rakic, 1992). I overensstemmelse med tese 5 fandt man, at de celler, der var selektivt responsive over for targetobjektet, nu fik en forhøjet baseline fyringsaktivitet. Targetrepræsentationen blev med andre ord gjort aktiv på forhånd (primet). Da de forskellige distraktor- og targetobjekter efterfølgende blev vist, så man umiddelbart en aktivitet i de neuroner, der hver især var receptive for det ene eller andet objekt. Efter 150-200 ms. (100 ms. før aberne begyndte en sakkadisk øjenbevægelse mod targetobjektet) så man imidlertid en ændring i fyringsmønsteret. De celler, der var receptive over for targetobjektet, vedblev at fyre, mens aktiviteten i de celler, der repræsenterede distraktorerne, hurtigt blev inhiberet.

Priming af en bestemt objektrepræsentation viste sig altså at give et bias i konkurrencen mellem neuroner, der i sidste ende førte til, at targetrepræsentationen var den eneste aktive. En tilsvarende primingeffekt er vist for de fleste visuelle områder i extrastriat kortex, inkluderende V2, V4 (Luck, Chelazzi, Hillyard og Desimone, 1997; McAdams & Maunsell, 1999; Reynolds, Chelazzi og Desimone, 1999), MT og MST (Treue & Maunsell, 1996; Treue & Trujillo, 1999). I modsætning til Chelazzi et al. (1993) har man i disse studier primet andre dimensioner end objektidentitet, for eksempel spatial lokation og bevægelsesretning. I overensstemmelse med tese 4 tyder det altså på, at biasmekanismen kan operere indenfor flere forskellige kvalitative dimensioner.

Enkeltcellestudierne har klart vist (jvf. tese 2), at konkurrencen mellem objekter er særlig hård, når både target og distraktor falder indenfor samme receptive felter i en neuronpopulation

(Reynolds et al., 1999). Derimod er konkurrencen mellem neuronpopulationer i forskellige hemisfærer meget mindre (Chelazzi, Duncan, Miller og Desimone, 1998).

Hypotesen om integreret konkurrence får også støtte fra eksperimenter omhandlende “opmærksomhedens blink”, som nævnt i afsnit 2.1.1. I denne type eksperimenter skal forsøgspersonen identificere targetobjekter, der optræder *forskudt i tid* sammen med distraktorer. Det er velkendt, at identifikationen af en targetstimulus nedsætter evnen til at detektere en ny stimulus i et efterfølgende tidsinterval (Broadbent & Broadbent, 1987; Raymond et al., 1992). I Duncan et al. (1994) og Ward, Duncan og Shapiro (1996) blev dette interval målt til 400-500 millisekunder. Resultatet gælder både for auditiv og visuel perception (Duncan, Martens og Ward, 1997b), hvilket tyder på en generel mekanisme i hjernens opmærksomhedsprocesser. Interessant nok var der ingen interferens mellem stimuli i forskellige modaliteter, hvilket giver mening i forhold til tese 2: konkurrencen mellem objektrepræsentationer i så indirekte koblede systemer som det auditive og det visuelle system kan forventes at være svag.

At opmærksomhedsprocesserne har et tidsforløb, der udstrækker sig over flere hundrede millisekunder, bekræftes af enkeltcellestudierne (Chelazzi et al., 1998). Disse resultater synes umiddelbart svære at forene med høj-hastigheds modeller som Treismans feature integration teori eller guided search. Treisman (1999) har dog en anden udlægning af Duncan og medarbejders forsøg med opmærksomhedens blink. Hun mener, at den sekventielle præsentation af stimuli i forsøgene ikke umiddelbart kan sammenlignes med visuelle søgningsopgaver, hvor de andre stimuli samtidig er “til rådighed”. I søgningsopgaverne kan der sideløbende med den serielle sammenbinding af features foregå en parallel forarbejdning af de andre stimuli (jvf. guided search), hvilket ikke er muligt, når en stimulus kun eksponeres i 90 ms som i Duncan et al. (1994).

I et upubliceret forsøg nævnt i Treisman (1999) fandt man, at opmærksomhedens blink blev kraftigt reduceret, når eksponeringstiden på hver stimulus blev sat op til 150 ms. Derfor foreslår Treisman, at opmærksomheden kun “dvæler” ved et objekt i 100-200 ms.; en tidsskala, der er forenelig med ihvertfald nogle tilfælde af guided search (Treisman & Sato, 1990). Da der imidlertid netop er tale om et upubliceret studie, er det svært at bedømme dette resultat. Det er en mulig fejlkilde, at den lange eksponeringstid har gjort opgaven så let, at en eventuel interferens i forbindelse med opmærksomhedens blink ikke har været målbar i forsøget. Ward et al. (1996) foregreb i øvrigt Treismans kritik, da de påpegede, at de to forsøgsparadigmer (visuel søgning og seriel præsentation af stimuli) har tradition for at give kompatible resultater. Det virker med andre

ord ikke så plausibelt, at Duncan og medarbejderes resultater skyldes et slags eksperimentelt artefakt ved forsøgsopstillingen.

Det sidste empiriske hovedområde for teorien om biased competition er også det, der har den mest direkte interesse for nærværende afhandling: læsionsstudier. Det huskes fra afsnit 2.2, at læsionsstudier af Posner og andre er blevet tolket således, at den (højre) posteriore parietallap har en særlig rolle i visuel opmærksomhed, specielt funktionens spatiale orientering. Duncan (1999) mener derimod, at opmærksomhedsforstyrrelser er en meget mere generel effekt af unilateral hjerneskade. Det er mere specifikt fænomenet *extinction*, der i følge teorien skulle være udbredt.

Extinction betegner som før nævnt det fænomen, at en patient ikke kan opfatte to stimuli samtidigt, som ellers uden problemer opfattes, når de optræder alene. Den ene stimulus "udslukker" så at sige den anden. Jævnfør konkurrencemodellen for neurale processer skulle dette ofte kunne ske, når den normale ligevægt mellem to systemer forstyrres efter skade i det ene system.

Påstanden om extinction som et så generelt fænomen efter hjerneskade må endnu siges at være spinkelt underbygget (se dog Vallar et al. (1994) for dokumentation af extinction efter skade udenfor højre parietallap). Duncan (1999) nævner tre casestudier med patienter, der har fået unilateral hjerneskade i andre områder end højre parietallap. Extinction i det kontralæsiøne felt var her tydelig, omend ikke så udtalt som ved de parietale skader. Nærværende projekt, der benytter en lignende metodik til undersøgelse af hjerneskade, er direkte relevant for extinction-hypotesen. Jeg vil derfor vende tilbage til spørgsmålet i senere kapitler.

2.3. Opsummering og konklusion

Omdrejningsspunktet i dette kapitel har været den visuelle opmærksomheds "væsen" i bred forstand. Der er blevet præsenteret en grov opdeling i to teoretiske hovedretninger. Den ene retning lægger vægt på fænomenets *spatiale* aspekt: opmærksomheden beskrives som et slags fokus, der udvælger en bestemt lokation i synsfeltet. Den anden hovedretning fremhæver det *temporale* aspekt: opmærksomheden opfattes som resultatet af en proces udstrakt i tid, ofte beskrevet som en konkurrence mellem alle sensoriske input. Ud over begrebsparret spatial-temporal knytter der sig også en række andre dikotomier til diskussionen, såsom seriel-parallel og rumbaseret-objektbaseret selektion.

Begge retninger kan pege på massiv empirisk støtte. I det hele taget synes det indlysende, at hver især peger på noget, der er vigtigt for forståelsen af visuel opmærksomhed. Det spatiale er uden

tvivl en central dimension for opmærksomhedens funktion. På den anden side synes det nu også sandsynligt, at opmærksomheden er en proces, der i høj grad fungerer parallelt og udstrakt i tid. En model med et stærkt serielt aspekt som guided search har svært ved at forklare en række af de nyere eksperimenter om opmærksomhedsprocessens tidsforløb. Den serielle modus synes derfor mere naturligt knyttet til øjenbevægelser og anden eksploration end til opmærksomhed per se. Så kan man naturligvis diskutere, om der er nogen skarp grænse mellem eksploration og perception/opmærksomhed, jævnfør kapitel 1.

Det spatiale aspekt kan udmærket rummes i de modeller, der beskriver opmærksomheden som en primært parallel proces. Her bliver der blot ikke tale om et skarpt defineret spatialt fokus, men snarere om områder af synsfeltet, der har tungere opmærksomhedsvægtning end andre - og dermed bedre chancer i "konkurrencen". For eksempel har TVA-modellen i en nylig "opgradering" inkluderet sådanne spatiale mekanismer (Logan, 1996; Bundesen & Logan, 1996).

Også på det neurale beskrivelsesplan afspejler parallelliteten sig. Der er næppe én struktur som for eksempel den inferiore parietallap, der overordnet dirigerer opmærksomheden. En sådan model er også sårbar over for den klassiske homunculus-problematik: hvem dirigerer i så fald "dirigenten"? I stedet er det sandsynligt, at en lang række semi-autonome strukturer i hjernen kan påvirke opmærksomhedsprocessen. Konkurrencemetaforen synes velegnet til at beskrive disse systemers interaktion.

3. TVA-MODELLEN:

PROJEKTETS ANALYSERAMME I KRITISK LYS

Bundesens TVA-model (“Theory of Visual Attention”) fungerer som den analytiske ramme for den empiriske del af specialeprojektet. I dette kapitel vil modellen blive præsenteret, såvel som der skal argumenteres for dens berettigelse som forståelsesramme. Dette vil blandt andet ske i lyset af den generelle diskussion i forrige kapitel, idet TVA hører til den type af modeller, der blev præsenteret i afsnit 2.2.

3.1. TVA-modellen: grundantagelser og matematisk formalisering

TVA-modellen blev oprindelig præsenteret i Bundesen (1990). Det er formuleringen i denne artikel, der danner basis for den følgende gennemgang af modellen. TVA-modellen er en videreudvikling af en valgmodel (Bundenen, Pedersen og Larsen, 1984; Bundesen, Shibuya og Larsen, 1985) og en kapløbsmodel (Bundenen 1987 og Shibuya & Bundesen, 1988). Disse modeller var primært baserede på partial report eksperimenter, og havde en betydelig succes med at forklare resultaterne fra disse forsøg.

Valgmodellen og kapløbsmodellen er generaliseret i TVA, således at de tidligere modeller i streng logisk forstand kan betragtes som specialtilfælde af TVA. De vil derfor ikke blive gennemgået separat. Jeg vil heller ikke gennemgå en nylig udvidelse af modellen (CTVA: Logan, 1996; Logan & Bundesen, 1996), da TVA giver identiske analyser for den type eksperimenter, der er inkluderet i specialeprojektet (forudsat nogle simple antagelser accepteres, se afsnit 3.2).

3.1.1. Stokastisk modellering

Et centralt aspekt ved TVA er, at den i modsætning til de fleste andre opmærksomhedsteorier er explicit i kvantitativ henseende. Mens for eksempel teorierne om feature integration og biased competition kun beskriver informationsforarbejdningen *skematisk*, indeholder TVA også en *matematisk modellering af tidsforløbet* i processen. Teorien kan derfor levere forudsigelser på interval-data niveau, mens de rent skematiske teorier højst kan levere forudsigelser på ordinalt niveau (se også Shibuya, 1991 og Townsend & Ashby, 1983). TVA har som følge af dette en højere grad af kvantitativ specificitet, der gør den meget anvendelig til empirisk forskning.

Det er en grundlæggende antagelse i den form for modellering, som TVA-teorien repræsenterer, at opmærksomhedsprocesserne bedst beskrives *stokastisk* til forskel fra

deterministisk (Townsend & Ashby, 1983). Modellen beskriver følgelig *sandsynlighedsfordelinger* for indtræffelsen af begivenheder i bestemte tidsrum frem for ufravigelige mekaniske lovmæssigheder. Da vi har at gøre med psykologiske processer, der er kendetegnet ved en vis variation fra gang til gang, synes dette at være den mest nuancerede beskrivelsesmåde. Stokastisk modellering kan principielt gøre rede for en større del af variansen i observationerne end rigide kausale modeller, der kun specificerer ét resultat.

3.1.2. Kategorisering og selektion i TVA

Et andet væsentligt aspekt ved TVA er, at den indeholder en samlet mekanisme for visuel genkendelse og selektion. Mekanismen består i at lave perceptuelle kategoriseringer på formen "det visuelle element x tilhører kategorien i ". Visuelle elementer antages at være perceptuelle enheder i gestaltpsykologisk forstand. Kategorier er perceptuelle egenskaber ved elementerne såsom bestemte farver, former eller positioner. Opmærksomhedsmæssig selektion af et element kan kun ske i kraft af en kategorisering af en af dets egenskaber. Der opstår således ikke nogen dikotomi mellem "tidlig" kategorisering og "sen" selektion af et objekt.

Kategorisering/selektion er synonym med en indkodning i den visuelle korttidshukommelse (VKTH; se også kapitel 5). VKTH kan kun indeholde et begrænset antal elementer (typisk omkring fire; Sperling, 1960). Denne kapacitet benævnes ved parameteren K . VKTH tænkes i TVA-modellen at fungere efter et "først-til-mølle" princip: når VKTH er fyldt op med elementer, er der lukket for de efterfølgende. Der er dog ikke en lignende begrænsning med hensyn til antallet af kategoriseringer. Elementer, der allerede er repræsenteret i VKTH, kan således blive ved med at forbindes med flere egenskaber. Denne skelnen mellem lagerkapaciteten for elementer og kategoriseringer virker måske umiddelbart overraskende, men finder støtte i empirien. Luck & Vogel (1997) fandt, at kun 4 elementer kunne optages i VKTH, mens der ikke var nogen begrænsning på det antal kategorier, der kunne forbindes med hvert element. Resultatet er analogt til Duncan (1984), hvor to kategoriseringer vedrørende det samme objekt ikke gav anledning til interferens, i modsætning til kategoriseringer vedrørende to forskellige objekter. Kategoriseringen af elementerne i synsindtrykket antages at foregå parallelt og uafhængigt af hinanden efter en indledende fastlæggelse af hvert elements "opmærksomhedsvægtning" (se næste afsnit).

3.1.3. Matematisk formalisering af modellens antagelser

Sandsynligheden for, at en given kategorisering bliver indkodet i VKTH er en funktion af flere faktorer, der beskrives med matematiske parametre. Den første af disse er *graden af sensorisk*

evidens for, at et givet element x tilhører kategorien i : $\eta(x,i)$. Hver kategori antages forbundet med en skabelon (template): en repræsentation i langtidshukommelsen af de sensoriske karakteristika ved medlemmer af kategorien i . $\eta(x,i)$ angiver, hvor godt elementet x matcher denne skabelon.

Disse bestemmelser af $\eta(x,i)$ -værdier antages foretaget parallelt og danner grundlaget for et efterfølgende kapløb om indkodning af kategoriseringer i VKTH. Sandsynligheden for en given indkodning afhænger dog også af såkaldte *pertinensværdier*. Hver perceptuel kategori j antages forbundet med en pertinensværdi $\pi(j)$, der angiver den aktuelle vigtighed af at rette opmærksomheden mod elementer tilhørende kategorien j . I et partial report eksperiment, hvor forsøgspersonen for eksempel skal holde øje med røde elementer og ignorere grønne, vil pertinensen af de to kategorier ideelt set være henholdsvis høj og lav. *Opmærksomhedsvægtningen* $w(x)$ af et element x er summen af pertinensværdierne for de kategorier der forbindes med elementet, vægtet efter hvor godt elementet sensorisk matcher kategorien:

$$w(x) = \sum \eta(x,j) * \pi(j) \quad (1)$$

hvor R betegner mængden af alle perceptuelle kategorier. Hvis opmærksomhedsvægtningen for et givet element er høj, øges sandsynligheden for alle kategoriseringer vedrørende elementet. Sandsynligheden for indkodningen af en bestemt kategorisering i afhænger derimod *biasværdien* for kategorien: $\beta(i)$. Et eksempel på denne mekanisme kan ses ved en meget kort eksponering af enten et E eller et F - to bogstaver, der let forveksles under disse betingelser. En forsøgsperson kan her have en systematisk tendens til at tolke synsindtrykket i retning af ét af bogstaverne. Dette vil svare til en relativt høj biasværdi for denne bogstavkategori, og en lav værdi for den anden.

Hver perceptuel kategorisering: "element x tilhører kategorien i " afhænger altså af

- 1) det sensoriske "match" mellem elementet x og skabelonen for kategorien i ,
 - 2) vigtigheden af at rette opmærksomheden mod de elementer, der tilhører kategorien i , samt 3)
- tendensen til at kategorisere et givet element som netop i . Sandsynligheden for, at en given kategorisering "x tilhører i" indkodes i VKTH til tiden t er givet ved hændelsens *hazardfunktion*³ :

$$v(x,i) = \eta(x,i) * \beta(i) * (w(x) / \sum w(z)) \quad (2)$$

hvor S betegner mængden af elementer i synsindtrykket. Både $\eta(x,i)$, $\beta(i)$ og $\pi(i)$ antages at være konstante under ”kapløbet”. $v(x,i)$ bliver derved også konstant. Da $v(x,i)$ blev defineret som hazardfunktionen for processen, er forarbejdningstiderne for hver kategorisering eksponentialfordelte med $v(x,i)$ som den eksponentielle rateparameter (Townsend & Ashby, 1983). Eksponentialfordelinger har i matematisk forstand en række “pæne” egenskaber, der gør dem simple at anvende til modellering.

Pertinensværdierne bestemmer, hvilket element der selekteres *uden* at favorisere en bestemt kategorisering. Biasværdierne bestemmer omvendt, hvordan et element bliver kategoriseret, *uden* at favorisere selektion af bestemte elementer. De to mekanismer er således komplementære, og betegnes i overensstemmelse med Broadbent (1971) som henholdsvis *filtering* (filtrering) og *pigeonholing* (sortering). TVA specificerer således to uafhængige mekanismer for selektion og kategorisering.

Den samlede kapacitet for forarbejdning af perceptuelle kategoriseringer antages begrænset og defineres matematisk som summen af v -værdier over alle kategorier og elementer i synsindtrykket:

$$C = \sum \sum v(x,i) \quad (3)$$

C kan i en vis forstand betragtes som det samlede informationsoptag fra synsindtrykket.

Parameteren vil blive diskuteret nærmere i kapitel 8 i forbindelse med eksperiment 1: whole report.

Indkodningsprocessen antages ikke at begynde fra det øjeblik, hvor eksponeringen starter. Der går normalt et lille tidsrum t_o , før personen begynder at opfange information fra visningen. Ved en fysisk eksponeringstid på t er *den effektive eksponeringstid* τ derfor givet ved:

$$\tau = (t - t_o) \quad (4)$$

³ hazard funktionen beskriver den betingede sandsynlighedstæthed for, at den perceptuelle kategorisering er foretaget til tiden t , forudsat at kategoriseringen ikke allerede er foretaget før tiden t .

Når et enkelt objekt præsenteres, kan sandsynligheden P_i for dets korrekte rapportering som en funktion af eksponeringstiden beskrives ved:

$$P_i = 1 - e^{-v_i \tau} \quad (5)$$

hvor v_i er den eksponentielle rateparameter for objektet. I tilfælde af flere samtidigt præsenterede objekter kan de forskellige v_i -værdier bestemmes ved ligning (2). Et eksempel på dette gives i kapitel 9 (partial report eksperimentet).

Ligning (5) holder imidlertid kun i de tilfælde, hvor der blot præsenteres ét eller to objekter. Vises der flere objekter, begynder indkodningsprocessen at blive væsentligt påvirket af begrænsninger i VKTHs kapacitet. Den matematiske modellering er i så fald en del mere kompliceret, og der henvises til appendix B for et konkret regneeksempel (nemlig det ligningssystem, der er forbundet med projektets whole report eksperiment).

Sluttelig er det vigtigt at nævne en række forhold, som TVA *ikke* udtaler sig om. Dette drejer sig om formen på mentale repræsentationer i VKTH (analoge eller propositionelle; se f.eks. Kosslyn, 1994) og kompleksitetsgraden af de kategorier, der kan tillægges pertinens (for eksempel enkeltbogstaver eller komplekse ord; se Shiffrin & Schneider, 1977 og Bundesen, Kyllingsbæk, Houmann og Jensen, 1997). TVA forholder sig i udgangspunkt neutralt til disse spørgsmål, men er forenelig med flere af de svar, som empirien kan pege på.

3.2 TVA-modellens berettigelse som analytisk ramme for projektet

I Bundesen (1990) blev TVA-modellen anvendt til at forklare en lang række empiriske resultater inden for forskellige paradigmer såsom enkeltstimulus genkendelse, whole report, partial report, visuel søgning og stimulusdetektion. Modellens evne til at samle mange opmærksomhedsfænomener i én forklaringsramme er bredt anerkendt (se for eksempel Humphreys, Duncan og Treisman, 1999), og den ellers kritiske van der Heijden (1993, p. 45) fremhæver den stadig som “the most sophisticated and detailed...among the position-not-special theories”.

Den vigtigste kritik af modellen blev fremført i van der Velde & van der Heijden (1993) samt i van der Heijden (1993). Her blev TVA-modellen kritiseret for ikke at kunne forklare spatiale opmærksomhedseffekter, og for generelt at overse den spatiale dimensions betydning for opmærksomheden. Den nylige udvidelse af TVA: CTVA (Logan, 1996; Logan & Bundesen, 1996)

tager højde for denne kritik og giver den spatiale dimension en særstatus i forhold til andre kategorielle dimensioner. Dette har gjort, at en del forskningsresultater vedrørende spatiale opmærksomhedseffekter nu også er kompatible med modellen (ibid.).

TVA er identisk med CTVA, når: 1) feltet for spatial opmærksomhed er identisk med mængden af elementer i displayet, og 2) afstanden mellem de enkelte elementer er så stor, at *feature catches* (fejlagtig opfangelse af sensoriske egenskaber) fra tilstødende objekter kan negligeres (Bundesen, 1999). Disse forhold antages opfyldt i eksperimenterne i nærværende projekt, hvorfor resultaterne kan analyseres ud fra et specialtilfælde af CTVA: den oprindelige TVA-model. Specialeprojektets analyseramme, TVA-modellen, er således en integreret del af et større teorisystem med en betydelig kvantitativ forklaringskraft over for mange opmærksomhedsfænomener.

Imidlertid kan man sige, at TVA er kontroversiel i den forstand, at den klart placerer sig på den ene side i den debat, der blev gennemgået i forrige kapitel. Den kan næsten kaldes et prototypisk eksempel på den type model, der blev gennemgået i afsnit 2.2. Det parallelle kapløb mellem de forskellige repræsentationer er ikke blot beskrevet, men direkte matematisk formaliseret i teorien. TVA-modellens berettigelse er således afhængig af den mere generelle diskussion, jeg præsenterede i forrige kapitel. Jeg vil ikke gentage argumentationen, men blot minde om min afsluttende konklusion: at de parallelle modeller bedst forklarer den samlede mængde af empiriske fænomener - især hvis modellerne (som CTVA) inkluderer den spatiale dimension. TVA synes således at placere sig fordelagtigt i det generelle teoretiske landskab.

En anden diskussion er forskellene mellem de enkelte parallelle modeller. Ved siden af TVA er *biased competition* teorien den vigtigste af disse. Selv om de to teorier på mange måder kan siges at være analoge, er der mindst én vigtig forskel mellem dem. TVA-modellen skelner mellem bias- og pertinensværdier, mens Duncan & Desimones model kun opererer med én biasmekanisme. *Biased competition* teorien omfatter med andre ord ikke en separat mekanisme, der kan sørge for bestemte kategoriseringer uafhængigt af selektion af bestemte objekter. Der eksisterer for øjeblikket ikke megen empiri, der kan kaste lys over denne uenighed. Det er muligt, at bias- og pertinenssætning i praksis er næsten uadskillelige processer, men for analytiske formål kan det være nyttigt at skelne mellem de to.

I øvrigt kan de to modeller siges at supplere hinanden godt. TVA-modellen kan beskrive konkurrencemekanismerne med en høj grad af kvantitativ specificitet. *Biased competition* modellen

er derimod (i øjeblikket) bedre rodfæstet i det fysiologiske beskrivelsesplan, specielt i kraft af enkeltcellestudierne.

Man kan måske kritisere TVA for, at der er visse aspekter af opmærksomhedsprocesserne, den ikke omfatter. Teorien beskriver i sin kerne, hvad der sker i løbet af én fiksering, men er ikke så eksplicit med hensyn til de eksplorative mekanismer, som i en større tidsskala også må være vigtige for opmærksomhedsprocessen (jvf. kapitel 1). Da målingerne i mit empiriske projekt udelukkende foregår under én fiksering, er det ikke noget problem for TVA at tolke dataene. Snarere er forsøgets design et problem for resultaternes generaliserbarhed; om forsøgspersonens opmærksomhedsfunktion i mere "økologisk" forstand bliver undersøgt. Jeg vil her minde om den problemafgrænsning for specialet, der afsluttede kapitel 1.

Et andet fænomen, der ikke beskrives i TVA, er implicit forarbejdning af information. Opmærksomhedsmæssig selektion er i TVA synonymt med (explicit) indkodning i korttidshukommelsen. Det specificeres ikke nærmere, hvad der sker med de repræsentationer, der ikke klarer sig i kapløbet om at blive opfattet bevidst/indkodet i korttidshukommelsen. Især neglektforskningen har peget på, at information, der ikke opfattes bevidst, stadig kan påvirke personens adfærd og kognition (Marshall & Halligan, 1988). Sådanne effekter er ikke uforenelige med TVA-modellen, men beskrives ikke direkte. Det er dog ikke noget problem for TVA at analysere specialeprojektets data, da disse bygger på explicit, verbal rapportering. Forsøget er ikke designet til at måle en eventuel implicit informationsforarbejdning. Den implicite informationskomponent må dog regnes som en fejlkilde, når for eksempel forsøgspersonernes samlede informationsoptag C skal vurderes. I den afsluttende diskussion vil dette punkt blive berørt igen.

Ud over den rent teoretiske diskussion af TVA-teoriens berettigelse er dens praktiske anvendelighed som analyseramme også af betydning for et empirisk projekt som det nærværende. Jeg vil fremhæve to kvaliteter, jeg mener gør teorien velegnet til formålet. For det første er den explicit kvantitativ og giver data på interval-niveau. Tidsforløbet, som i stigende grad anerkendes som en vigtig parameter i forståelsen af opmærksomhed (jvf. kapitel 2) beskrives direkte.

For det andet specificerer TVA opmærksomhedsprocessen i en række enkeltkomponenter (såsom K , C og t_o) i stedet for blot at operere med enkelte "rå" måleparametre som for eksempel reaktionstid eller antal fejl. Dette giver (ihvertfald principielt) analysemetoden en specificitet, der overgår for eksempel traditionelle neglekttests. En TVA-analyse konstaterer ikke blot antallet af

overseelser i en bestemt del af synsfeltet, men kan også give et bud på de kognitive kapaciteter, der udgør *baggrunden* for den nedsatte præstation. En lav præstation i venstre side af synsfeltet kan således skyldes både langsom informationsforarbejdning, lav opmærksomhedsvægtning eller ringe plads i korttidshukommelsen. TVA kan differentiere mellem disse variable og giver i princippet en mere nuanceret beskrivelse af forsøgspersonens kapacitet. Det må dog siges at være et empirisk spørgsmål, om analysen *rent faktisk* giver flere indsigter end traditionelle målemetoder. Jeg håber naturligvis at illustrere metodens fordele i den empiriske del af specialeprojektet.

I Humphreys, Duncan og Treisman (1999, p. 7) nævnes TVA som en beskrivelsesramme “...couched at a level abstracted from physiological mechanism”. Mens dette er tilfældet for den oprindelige formulering i 1990-artiklen, betyder det ikke, at TVA-modellen ikke kan knytte forbindelse til det neurale plan. Ét foreløbigt forslag til en sådan forbindelse er allerede blevet fremsat (Bundesen, 1998) og modellen har også fungeret som analyseramme for et andet neuropsykologisk forskningsprojekt (Duncan et al., 1999). Nærværende projekt kan ses som et andet forsøg på at rodfæste TVA-modellens psykologiske beskrivelsesniveau i det neuroanatomiske plan.

4. VISUELLE OPMÆRKSOMHEDSFORSTYRRELSER OG FOKAL HJERNESKADE: INTRODUKTION

Opmærksomhedsforstyrrelser er, taget i bred forstand, blandt de hyppigste følger af hjerneskade (Lezak, 1995). I den kliniske neuropsykologi er emnet af særdeles stor betydning, ikke mindst fordi opmærksomheden på mange måder er en forudsætning for den øvrige kognition. Især er indlæring afhængig af, at information selekteres pålideligt fra omverdenen.

Opmærksomhedsforstyrrelserne udgør et stort og heterogent område. Imidlertid er der en betydelig del, vi ikke behøver at undersøge nærmere. Således er opmærksomhedsdeficits ved mere diffus hjerneskade - som ved Alzheimers demens, metaboliske sygdomme, multipel sklerose eller de fleste hovedtraumer (van Zomeren & Brouwer, 1994) - ikke interessante for denne afhandling. Jeg har som bekendt valgt at beskæftige mig med de afgrænsede (fokale) hjerneskader. Sådanne skader har typisk en vaskulær baggrund (apopleksi), men kan også være af kirurgisk, traumatisk eller neoplastisk oprindelse.

En yderligere afgrænsning ligger i specifikationen *visuel* opmærksomhed. Idet jeg koncentrerer mig om den visuelle modalitet, afgrænses emnet fra opmærksomhedsforstyrrelser i de øvrige sanser (hvor især auditivt-verbale deficits har været genstand for megen forskning). Supramodale opmærksomhedsaspekter - som for eksempel monitorering af egen mental aktivitet (Lezak, 1995) - er også højst af indirekte relevans for afhandlingen.

Indenfor den kliniske neuropsykologi har man traditionelt nærmet sig opmærksomhedsforstyrrelserne fra to vinkler. For det første har man beskrevet de *begrænsninger i kapaciteten for informationsbearbejdning*, som mange typer hjerneskade medfører. Klassisk skelner man mellem nedsat forarbejdningshastighed: "hvor hurtigt?", og nedsat opmærksomheds-spændvidde: "hvor meget?" (Lezak, 1995). Disse deficits er ikke samlet i sygdomsenheder, men figurerer snarere som enkeltsymptomer. De er ikke sikkert forbundet med skade i bestemte dele af hjernen. Disse fænomener behandles i kapitel 5. På den anden side har man fundet egentlige *opmærksomhedssyndromer* som for eksempel visuel neglekt og simultanagnosi. Sådanne syndromer er pålideligt forbundet med en række karakteristiske symptomer, såvel som med skader i bestemte anatomiske regioner. De klassiske visuelle opmærksomhedssyndromer diskuteres i kapitel 6.

Denne opdeling i enkeltsymptomer og syndromer er i overensstemmelse med forskningens nuværende status. Jeg har derfor valgt at følge den i de næste to kapitler. Opdelingen er dog ikke naturgiven, og afspejler blandt andet, at man har mindre sikker viden om den neurale baggrund for kapacitetsbegrænsningerne end for opmærksomhedssyndromerne. Det er ikke udelukket, at for eksempel nedsat kapacitet i VKTH i fremtiden kan blive mere sikkert forbundet med bestemte typer hjerneskade.

5. ENERGETISKE OG STRUKTURELLE KAPACITETSBEGRÆNSNINGER EFTER HJERNESKADE

I Cohen (1993) præsenteres en klassisk skelnen mellem to typer begrænsninger i opmærksomhedsmæssig kapacitet: strukturelle og energetiske. De strukturelle begrænsninger betegner personens *maksimale* evne til at forarbejde information. Der er tale om indbyggede begrænsninger i det kognitive system, som for eksempel korttidshukommelsens maksimale lagerkapacitet. Over tid er det dog svært for en person at fastholde dette optimale niveau. Der optræder næsten altid en vis variation i præstationerne, som blandt andet kan forklares ved energetiske faktorerers indflydelse (Kahneman, 1973). Energetiske faktorer er blevet beskrevet med begreber som arousal, motivation og anstrengelse. I forhold til de strukturelle begrænsninger har det vist sig vanskeligt at operationalisere de energetiske faktorer empirisk, og de er i følge Cohen (1993) dårligere integreret i forskningen. Der eksisterer dog en vis generel viden, som især har at gøre med subkortikale systemer.

5.1. Energetiske påvirkninger: basal arousal og fysiologisk motivation

Det har længe været kendt, at det generelle fysiologiske aktivitetsniveau (arousal) i cortex er kritisk afhængigt af det *ascenderende retikulære aktiverings system* (ARAS) (Moruzzi & Magoun, 1949). Moruzzi & Magoun fandt, at når ARAS-systemet blev stimuleret elektrisk i bedøvede katte, opstod et vågen-lignende aktivitetsmønster i kattens cortex (målt ved EEG). Systemets betydning for det generelle bevidsthedsniveau er bekræftet mange gange siden, og det beskrives ofte som en elektrofysiologisk "pacemaker" for kortikal arousal (Mesulam, 1985). Bilaterale læsioner i ARAS-systemet kan føre til permanent coma (ibid.).

Anatomisk set er der tale om et kompliceret system. Det omfatter en række kerner og nervebaner fra hjernestammen, hvis påvirkning af cortex medieres af de intralaminære kerner i thalamus. Disse kerner projicerer bredt til de fleste dele af cortex, hvilket kan betragtes som den anatomiske baggrund for ARAS-systemets generelle, non-specifikke effekt (Cohen, 1993)⁴. Den kortikale aktivitet er dog også afhængig af *biokemisk* regulering fra subcortex. Mange systemer tænkes at bidrage til denne regulering, blandt andet det histaminerge system i hypothalamus, kolinerge og non-kolinerge baner fra Meynerts basale kerne, og ikke mindst det kolinerge system i

⁴ Principielt kan intet neuralt system siges at fungere non-specifikt; hjernen er højt systematisk organiseret, og hver forbindelse mellem delsystemer har formentlig sin unikke funktion. Den nuværende forskning tillader dog ikke at specificere ARAS' funktion nærmere.

selve ARAS (Heimer, 1995; Mesulam, 1985). Norepinefrin-systemet i locus coeruleus er også vigtigt for kortikal arousal, jævnfør Posner & Petersens teori. Der har længe foregået en intens farmakologisk forskning i de enkelte stoffers funktion (for en oversigt, se Cooper, Bloom og Roth, 1996). Blandt andet er det vist, at anti-kolinerge midler kan lede til svære konfusionstilstande, formodentlig ved forstyrrelse af de kolinerge baner i ARAS (Mesulam, 1985). De mere specifikke biokemiske mekanismer i arousalsystemerne er dog langt fra forstået endnu (Heimer, 1995).

Der er også et andet subkortikalt system med betydning for opmærksomheds-funktionerne i korteks. Det drejer sig om *det limbiske system*, der normalt defineres som bestående af hippocampus, amygdala, septum, fornix, pyriform korteks og en række kerner, herunder Meynerts basale kerne og corporo mammilare (Cohen, 1993; Kolb & Whishaw, 1996). Der er tæt forbindelse til "paralimbiske" strukturer som gyrus cingularis. Selv om nogle anatomer mener, at det er for simpelt at betragte dette som ét funktionelt system (Heimer, 1995), er det bredt anerkendt, at de nævnte strukturer er afgørende for medieringen mellem de højere kognitive processer i korteks og basale fysiologiske impulser fra eksempelvis hypothalamus. Denne mediering tænkes ofte at foregå ved en emotionel farvning af den kognitive information. Den emotionelle farvning foretages ud fra tidligere erfaringer og ud fra aktuelle behov for organismen (Cohen, 1993). I opmærksomhedsmæssig sammenhæng kan systemet være med til at udpege særligt betydningsfulde stimuli (i TVAs sprogbrug: tildele høj pertinens).

Mesulam (1985, 1990) mener, at disse subkortikale systemer samlet set leverer en "state" funktion. Dette vil sige, at de sætter hjernen i en sådan generelt responsiv tilstand, at de mere målrettede ("vector") opmærksomhedsprocesser kan forløbe. Disse processer antages varetaget i korteks, der således giver opmærksomheden sit specifikke indhold. Denne simple skelnen er bredt anerkendt (Paus et al., 1997; I.H. Robertson & Manly, 1999), selv om det også er klart, at arousal er afhængig af en reciprok interaktion mellem kortikale og subkortikale systemer. Således kan især den højre dorsolaterale prefrontale korteks mobilisere arousalsystemet under monotone opgaver, hvor der ikke er nogen (subkortikal) motivation til fastholde opmærksomheden (I.H. Robertson & Manly, 1999). Det synes altså rimeligt at regne med både "bottom-up" og "top-down" påvirkninger af arousalsystemet.

Skade i højre hemisfære er generelt forbundet med hypoarousal og nedsat responsivitet for stimuli (Coslett, Bowers og Heilman, 1987). Dette gælder både for stimuli, der normalt helt automatisk ville føre til forhøjet arousal (som emotionelt provokerende billeder: Morrow, Vrtunski,

Kim og Boller, 1981) samt opgaver, der kræver en viljesstyret, vedholdende koncentration (I.H. Robertson et al., 1997).

Den energetiske faktor i opmærksomheden kan således både påvirkes af subkortikale og kortikale skader. Skader i den subkortikale del af systemet leder typisk til svære forstyrrelser i det generelle bevidsthedsniveau, inklusiv koma. Også kortikale skader, især frontalt og i højre side, kan dog (via forbindelsen til de subkortikale strukturer) føre til forstyrrelser i hjernens arousaltilstand. Sådanne forstyrrelser har sjældent samme sværhedsgrad som de subkortikale, men er alligevel mærkbare. Desuden kan der opstå specifikke problemer med den voluntære styringen af hjernens arousalniveau, hvilket kan give koncentrationsproblemer i langvarige, monotone opgaver. Den sidste mekanisme er af betydning for nærværende empiriske projekt, der netop omfatter en sådan langvarig testprocedure. Det er karakteristisk for disse (lettere) energetiske forstyrrelser, at de snarere mærkes som fluktuationer i præstationerne over tid end ved et stabilt nedsat niveau. Påvirkningen rammer endvidere ikke enkelte modaliteter (som for eksempel visuel opmærksomhed) men er generel og non-specifik.

5.2. Strukturelle begrænsninger I: nedsat visuel forarbejdningshastighed

Ved næsten alle typer hjerneskader har man fundet en tendens til forlænget reaktionstid på kognitive tests (van Zomeren & Brouwer, 1987). Fænomenet er traditionelt blevet betragtet som en non-specifik effekt af hjerneskade, og forskningen har især koncentreret sig om diffuse skader. For eksempel er hovedtraumer, intoksikationer og demens velundersøgte på dette punkt (se for eksempel van Zomeren & Brouwer, 1994; Lezak, 1995). Der findes desuden mange forskningsresultater, der forbinder normale aldringsforandringer i hjernen med forlængede reaktionstider (Myerson et al., 1990). I de senere år er der dog også begyndt at dukke undersøgelser op, der karakteriserer den nedsatte forarbejdningshastighed efter fokal (oftest apoplektisk) hjerneskade (Spinelli, Burr og Morrone, 1994; Spinelli, Angelelli, Luca og Burr, 1996; Husain et al., 1997; Duncan et al., 1999).

Van Zomeren & Brouwer (1987) foreslår to patofysiologiske mekanismer af betydning for den kognitive langsommelighed efter hjerneskade. Der kan for det første være tale om diffus påvirkning af hjernens hvide substans, så informationsoverførslen mellem de enkelte hjernesystemer bliver mindre effektiv. Dette kan for eksempel ske ved overrivning af nervefibre ved traumatisk hjerneskade, ved alkoholpåvirkning (Lezak, 1995) eller ved degenerative forandringer i forbindelse

med normal aldring (Ylikoski et al., 1993). Den anden mekanisme består i lokale skader i bestemte områder. Dette kan for eksempel dreje sig om subkortikale områder, der er vigtige for generel arousal/alertness (jævnfør sidste afsnit), men kan også være kortikale skader, især frontale. Sådanne skader tænkes at påvirke de eksekutive funktioner og således give langsommelighed i opgaver, der kræver beslutningstagning.

En forlænget reaktionstid kan dog dække over forsinkelser på mange trin i informationsforarbejdningen mellem stimulus og respons (Townsend & Ashby, 1983). I forsøget på at finde dette *locus of the slowness* har man ofte brugt komponentanalyse. Dette vil sige, at man sammenligner reaktionstiderne på tværs af forskellige typer kognitive tests for at se, om nogle opgaver giver anledning til særlige problemer. Van Zomeren & Brouwer (1994) nævner en række undersøgelser af personer med traumatisk hjerneskade, hvor især opgaver, der krævede eksekutiv funktion (beslutningstagning, responsselektion) gav forøget reaktionstid. De hævder på denne baggrund, at det primært er de senere stadier i informationsforarbejdningen, der giver den forlængede reaktionstid. Myerson et al. (1990) nævner dog, at komponentanalyse indenfor forskningen i normal aldring ikke har kunnet påvise trin i informationsforarbejdningen, der er særligt langsomme. Heller ikke forskningen i demens peger på processer, der er mere langsommelige end andre (Cohen, 1993).

I forhold til denne afhandling er det specifikt langsommelighed i den *visuelle indkodningsfase*, der er interessant. Ingen af de nævnte undersøgelser peger på noget sådant. Dette kan dog skyldes, at de anvendte neuropsykologiske tests næsten altid omfatter en motorisk/responsiv komponent, der kan have overskygget den sensorisk/visuelle komponent. Der findes dog enkelte nyere undersøgelser, der er mere informative i denne henseende.

Spinelli et al. (1994, 1996) lavede visual evoked potential (VEP) forsøg med patienter med visuel neglekt. Latenstiden for reaktion på visuel stimulering viste sig at være 30 ms. forsinket i den skadede hemisfære. Den vigtigste del af VEP-reaktionen genereres i V1-området, der ikke var skadet i disse patienter. I stedet foreslog Spinelli et al., at en ændret feedback fra de skadede højereordens visuelle områder kan forklare forsinkelsen i VEP-reaktionen.

Husain et al. (1997) undersøgte neglektpatienter med både parietale, frontale og basal ganglie skader. I forhold til normale personer og patienter med tilsvarende højre hemisfære skader, havde neglektpatienterne et opmærksomhedsmæssigt blink, der var tre gange længere (1440 ms). Dette tyder på, at det tager ekstremt lang tid for neglektpatienter at forarbejde den enkelte visuelle stimulus.

Duncan et al. (1999), der benyttede samme metodik som dette specialeprojekt, fandt bilateral nedsættelse af den visuelle forarbejdningshastighed hos neglektpatienter. I modsætning til nærværende empiriske projekt deltog der imidlertid ikke patienter med andre typer hjerneskade, og det er derfor svært at sige, om langsommeligheden er specifik for neglektpatienter.

Opsummerende kan det siges, at den visuelle forarbejdningshastighed ved hjerneskade endnu ikke er særlig godt undersøgt. Almindelige neuropsykologiske tests er ikke velegnede til at isolere fænomenet, da de næsten alle er "forurenede" af motoriske og andre komponenter. Enkelte nyere studier dokumenterer langsom visuel forarbejdning efter hjerneskade, især ved neglektpatienter. Studierne peger dog ikke klart på bestemte hjernesystemer som kritiske for den visuelle forarbejdningshastighed. I tilfælde af unilateral hjerneskade er det også noget uklart, i hvor høj grad langsommeligheden gælder begge eller kun det kontralæasionale synsfelt. Specialeprojektets whole report forsøg (kapitel 8) er direkte relevant for disse spørgsmål.

5.3. Strukturelle begrænsninger II: nedsat lagerkapacitet i VKTH

Ud over forarbejdningshastigheden er der en anden væsentlig begrænsning i den visuelle opfattelsesevne: størrelsen af den visuelle korttidshukommelse. Den første teori om korttidshukommelsens kapacitet blev præsenteret i en berømt artikel af Miller (1956). Miller mente, at systemet kunne rumme cirka 7 elementer. Det blev dog snart klart, at dette resultat kun gælder for én form for korttidshukommelse, nemlig den auditive. I dag skelner man mellem et auditivt og et visuo-spatialt lager i korttidshukommelsen (Baddeley, 1986).

Mens den auditive korttidshukommelse har været genstand for massiv udforskning, er det samme ikke tilfældet for den visuelle korttidshukommelse (Logie, 1995). Med hensyn til systemets lagerkapacitet står Sperling (1960) stadig som den vigtigste artikel på området. Sperling viste, at normale forsøgspersoner maksimalt kan opfatte tre til fire simultant præsenterede elementer; et resultat der nyligt er bekræftet i Luck & Vogel (1997), og som også finder støtte i nærværende projekt. Neurofysiologisk kan man forestille sig, at det neurale netværk, der repræsenterer information i korttidshukommelsen, kun kan fastholde et begrænset antal stabile svingningstilstande uden indbyrdes interferens (Lisman & Idiart, 1995).

Også på hjerneskadeområdet er langt den meste forskning koncentreret om den auditive korttidshukommelse. Måling af den auditive spændvidde (i form af test som digit span) er standard i de fleste neuropsykologiske undersøgelser. Derimod nævner Lezak (1995) i sin omfattende

fortegnelse over neuropsykologiske tests ikke én, der er i stand til at måle den visuelle korttidshukommelses kapacitet. For eksempel er Corsi block tapping, der hævdes at kunne måle den visuelle spændvidde, snarere en test af den umiddelbare hukommelse for *sekvenser* af bevægelser. En egentlig test af den visuelle korttidshukommelses kapacitet kræver derimod en *simultan* præsentation af et antal stimuli. Dette må endvidere ske i et så kortvarigt tidsinterval, at der ikke er tid til verbal omkodning (Sperling, 1960). Det kræver med andre ord en elektronisk eller computeriseret testmetode.

Ud over Duncan et al. (1999) og det nærværende empiriske projekt eksisterer der mig bekendt kun ét studie, hvor man har brugt en sådan metodik til at undersøge hjerneskadedes visuelle korttidshukommelse. Warrington & Rabin (1971) præsenterede forskellige typer visuelle stimuli i enten 50 eller 160 ms. for en stor gruppe hjerneskadede. De fandt en klar tendens til, at patienter med skade posterioart i venstre side kunne rapportere mindst fra visningen. Da Warrington & Rabin imidlertid kun brugte én eksponeringstid for hver opgavetype, er det ikke muligt at afgøre, om de hjerneskadedes nedsatte præstation skyldes langsom forarbejdning og/eller nedsat lagerkapacitet. En sådan differentiering kræver viden om *præstationen som funktion af eksponeringstiden*. Denne funktion må kendes for blandt andet at kunne se, om antallet af korrekte svar hurtigt når et "loft" eller bliver ved med at stige langsomt. Det første mønster tyder på en begrænsning i den visuelle korttidshukommelse, det andet på en nedsat forarbejdningshastighed (se også kapitel 8). For at få et indtryk af denne funktions forløb er det nødvendigt med et minimum af separate eksponeringstider; i det nærværende studie bruges seks målepunkter. Ét målepunkt, som i Warrington & Rabin (1971), giver ingen mulighed for at karakterisere funktionen.

Der findes også et nyere studie af den visuelle korttidshukommelses kapacitet hos hjerneskadede, hvor man imidlertid brugte en noget anden metodik. I Pigott & Milner (1994) viste man forsøgspersonerne matricer, hvor hver celle enten var tom/hvid eller udfyldt/sort. Mønsteret blev vist i 2 sekunder. Kort efter blev forsøgspersonen vist et andet mønster, der var identisk bortset fra, at én celle var ændret. Forsøgspersonens opgave var nu at pege på den celle, der var forandret. Derefter fulgte matricer med stigende antal elementer, indtil forsøgspersonen ikke længere kunne løse opgaven sikkert. Normale forsøgspersoner har en "spændvidde" på fjorten elementer i opgaven. Af samme grund må dette mål for den visuelle spændvidde anses for bundet til Pigott & Milners specielle opgave. Ud fra den øvrige forskning er det næppe tænkeligt, at den visuelle korttidshukommelses generelle kapacitet kan være 14 separate elementer.

Pigott & Milner fandt, at unilaterale læsioner i den anteriore temporallap ikke gav problemer på opgaven, men at patienter med skader i højre frontallap havde markante problemer. Pigott & Milner tolkede fundet som et udtryk for denne gruppes problemer med indkodning af kompleks information. Det er imidlertid også muligt, at den lave præstation ved højresidig frontal skade kan skyldes mere basale problemer med fastholdelse af visuel information i korttidshukommelsen. Flere nye billeddannende studier tyder på, at visuo-spatial arbejdshukommelse (der holder den visuelle information "on-line") afhænger af forskellige strukturer i prefrontal cortex (Haxby et al., 2000), specielt i den superiore del af frontallappen (omkring frontal eye fields). Disse studier peger dog ikke på en speciel relation til højre hemisfære.

Sluttelig skal det nævnes, at både Warrington & Rabin (1971) og Pigott & Milner (1994) fandt, at tests af den auditive korttidshukommelse korrelerede meget lavt med målingerne af den visuelle korttidshukommelse. Der synes altså at være tale om to forholdsvis uafhængige, modalspecifikke systemer med hver deres kapacitet. Dette støttes også af fundet af dobbelte dissociationer mellem deficits på Corsi Block Tapping og auditiv spændvidde (Logie, 1995). Selv om Corsi Block Tapping som nævnt ikke kan regnes for en fulgyldig test af den visuelle korttidshukommelses kapacitet, undersøger testen dog evnen til at fastholde (sekventiel) visuel information, og har formentlig en vis relation til VKTH.

Forskningen i hjerneskaders påvirkning af den strukturelle kapacitet for visuel forarbejdning er endnu i en indledende fase. Hverken med hensyn til den visuelle forarbejdningshastighed eller størrelsen af den visuelle korttidshukommelse foreligger der mere end en håndfuld undersøgelser. Næsten alle er plaget af mangel på specificitet, som når Warrington & Rabin (1971) ikke adskiller forarbejdningshastighed og spændvidde, og reaktionstids-eksperimenterne ikke effektivt isolerer den sensoriske fra den motoriske komponent.

Kun ét studie (Duncan et al., 1999) har forsøgt at måle begge parametre i samme patientpopulation. Whole report forsøget i det nærværende projekt benyttede samme metodik som Duncan et al., men på en mere heterogen gruppe af patienter. Forsøget bevægede sig således på ny grund i udforskningen af hjerneskade og visuel opmærksomhed.

6. DE KLASSISKE VISUELLE OPMÆRKSOMHEDSSYNDROMER: NEGLEKT, EXTINCTION OG SIMULTANAGNOSI

Visuel neglekt er så langt den opmærksomhedsforstyrrelse, hvor der foreligger flest videnskabelige undersøgelser. I neuropsykologiske lærebøger fremstår syndromet ofte som den prototypiske opmærksomhedsforstyrrelse (for eksempel Mesulam, 1985; Kolb & Whishaw, 1996; Gade, 1997; Gazzaniga, Ivry og Mangun, 1998). Fænomenet har en slående klinisk fremtræden, og er ofte tydeligt fra det øjeblik, man møder patienten. Når det endvidere er en hyppig følge af apoplektisk hjerneskade, er det ikke så underligt, at neglekt har tiltrukket sig stor forskningsmæssig interesse.

Neglektpatienter udviser ofte extinction, og dette fænomen er derfor blevet betragtet som et delaspekt ved neglektsyndromet; eventuelt som en mild form, der optræder i recoveryfasen (Kolb & Whishaw, 1996). Situationen er dog nok mere kompliceret end som så, som jeg vil forsøge at redegøre for senere i dette kapitel. Simultanagnosi, et andet klassisk opmærksomhedssyndrom, skal også nævnes. Patienter med denne forstyrrelse indgår ikke i min undersøgelse, men syndromet har alligevel en betydelig teoretisk relevans for projektet.

Som udgangspunkt for diskussionen er det dog vigtigt at demonstrere den betydelige heterogenitet, der karakteriserer det centrale af de tre syndromer: visuel neglekt.

6.1. Komplexiteten i det visuelle neglektsyndrom

Neglekt defineres klassisk som en forstyrrelse, hvor patienten ikke rapporterer, reagerer på eller orienterer sig imod stimulation fra sin kontralæsionale side (Karnath, 1994). Dette vil som regel sige patientens venstre side, da det længe har været kendt, at syndromet overvejende er forbundet med skader i højre hemisfære (De Renzi, 1982). Mere præcist er det hyppigst skader i den supramarginale og den angulære gyrus (den inferiore parietallap), der giver anledning til fænomenet (Vallar & Perani, 1986). Neglekt kan dog også opstå efter læsioner i subkortikale nuclei (såsom basal ganglierne) og den hvide substans, hvor det endvidere tyder på, at de kritiske strukturer netop er de, der er tæt forbundne med førnævnte kortikale område⁵ (Vallar, 1993).

Tidligere har man foreslået, at neglekt kunne være en rent sensorisk forstyrrelse, men meget tyder nu på, at der er tale om et opmærksomhedsfænomen (De Renzi, 1982). I modsætning til patienter med hemianopsi kan neglektpatienter udmærket percipere stimuli i venstre del af

⁵ Baggrunden for dette kan være *diaschisis*-fænomenet: en fjernvirkning af hjerneskade, hvor læsion i ét område giver underaktivitet i forbundne områder, selv om disse er strukturelt intakte (Kolb & Whishaw, 1996).

synsfeltet, men er til gengæld utilbøjelige til at orientere sig mod denne side. Implicit forarbejdning af venstresidige stimuli tyder også på, at disse stimuli registreres i cortex, men ofte for svagt til at krydse bevidsthedstærsklen (Marshall & Halligan, 1988; Rafal, 1998). Vestibulær-kalorisk stimulation (afkøling af det vestibulære system i det ene øre) kan afhjælpe visuel neglekt midlertidigt (Cappa, Sterzi, Vallar og Bisiach, 1987); en effekt, der er svær at forene med teorien om et basalt sensorisk deficit. En opmærksomheds-model for neglekt kan derimod forklare alle disse fund, og er da også den mest udbredte (se for eksempel De Renzi, 1982; Mesulam, 1990; Kinsbourne, 1993; Rafal, 1998).

Det visuelle aspekt af neglektfænomenet har domineret forskningen, og er naturligvis også det, der er interessant for denne afhandling. Neglekt manifesteres dog ofte multimodalt, og for fuldstændighedens skyld bør *personlig* neglekt nævnes. Hermed menes neglekt af egne (kontralæsionale) kropsdele (De Renzi, 1982), altså somatosensorisk neglekt. Der er fundet flere tilfælde af dobbelte dissociationer mellem visuel og personlig neglekt (Bisiach, Perani, Vallar og Berti, 1986; Guariglia & Antonucci, 1992). I stedet for at være to udtryk for samme syndrom er det derfor mere sandsynligt, at kovariansen mellem visuel og personlig neglekt skyldes en afhængighed af tætliggende, men funktionelt separate, anatomiske systemer i parietallappen. Hjerneskader respekterer som bekendt ikke fine anatomiske afgrænsninger, og den samme patient har derfor ofte en læsion i begge systemer.

Siden Heilman & Valenstein (1972) har det været kendt, at der findes en sjældnere variant af neglektsyndromet, der er forbundet med frontal skade. Husain & Kennard (1996) peger på den dorsale del af den inferiore frontale gyrus som den kritiske lokation. Man har traditionelt ment, at det karakteristiske træk ved denne frontale neglekt er en mindre tilbøjelighed til at foretage *bevægelser* ind i det kontralæsionale felt. Tilstanden betegnes som “motorisk neglekt” (Mesulam, 1981) og “direktionel hypokinesi” (Milner & Goodale, 1995). Dette giver en dikotomi mellem (anterior) motorisk og (posterior) perceptuel neglekt, hvor kun den sidste opfattes som relevant for de visuelle opmærksomhedsprocesser. Husain (1997) foreslår i stedet, at skade i højre frontallap også kan være forbundet med et deficit i de perceptuelle processer, nærmere bestemt en patologisk distraherbarhed over for højresidige elementer i synsfeltet. Husain noterer sig, at frontal neglekt ofte kun viser sig i visuelle søgningsopgaver med mange forstyrrende elementer. Parietal neglekt giver derimod et højresidigt bias uanset om testningen inkluderer distraktorer. Frontal neglekt foreslås derfor at være et slags “top-down” deficit i styringen af den visuelle opmærksomhed (jævnfør Posner & Petersens anteriore netværk). I det nærværende studie findes en forsøgsperson, der er relevant for denne diskussion (patient GL).

Der kan altså opstilles en overordnet skelnen mellem den almindelige parietale neglekt (som ofte inkluderer somatosensorisk neglekt) og en sjældnere frontal neglekt. Internt i det parietale neglektsyndrom er der imidlertid også afdækket en betydelig heterogenitet. Dette har først og fremmest at gøre med *referenceramme*problemet: patienterne har ofte en tendens til at overse begivenheder i venstre side, men “venstre” i forhold til hvad?

Man har ofte sat neglekt i forbindelse med forstyrrelser i *egocentriske* koordinatsystemer. Karnath (1994, 1999) har foreslået, at neglekt er en forskydning af en generel egocentrisk referenceramme i ipsilæsonal retning. Han forestiller sig overkroppens midterlinie som et slags “anker” for de forskellige effektorspecifikke rumrepræsentationer, og at dette fikspunkt er forskubbet mod højre i tilfælde af neglekt. Vestibulær-kalorisk stimulation (Cappa et al, 1987) og stimulation af proprioceptorer i nakkemuslerne (Karnath, 1994) har vist sig at mildne neglekt midlertidigt. Karnath tolker disse fund således, at stimulationen tvinger denne generelle egocentriske referenceramme mod venstre og dermed opløser neglekten for en tid.

Chokron & Bartholomeo (1997) fremhæver dog, at den egocentriske referenceramme også kan være forskudt til den ene side uden der optræder neglekt, f.eks. i optisk ataksi, vestibulære forstyrrelser og hos forsøgspersoner, der bærer specielle prizmer. Omvendt kan vestibulær-kalorisk stimulation påvirke andre forstyrrelser, f.eks. hemianopsi og anosognosi (Farne, Ponti og Ladavas, 1998). Karnaths udlægning af forsøgene er altså langt fra den eneste mulige. I det hele taget synes det forsimplet at betragte neglekt som en forstyrrelse i et generelt egocentrisk koordinatsystem.

Denne pointe støttes også af en anden observation: at neglekt kan være relativ til det perciperede objekt i sig selv. I sådanne tilfælde overser patienten for eksempel venstre side af en figur, selvom hele figuren befinder sig til højre for kroppens og hovedets midtlinie. Der er ikke fuldstændig enighed om eksistensen af denne neglektform. Farah et al. (1990) fandt for eksempel ikke, at objekt-centrerede referencerammer var relevante for deres gruppe af neglektpatienter. Studiet er imidlertid blevet kritiseret for metodiske problemer af Hillis (1998). Også på basis af andre studier (Hillis & Caramazza, 1995; Walker, 1995) kan det med rimelig sikkerhed konkluderes, at objekt-centrerede repræsentationer kan skades selektivt i visuel neglekt. Man kan f.eks. dreje et ord 180 grader rundt og stadig finde, at nogle patienter overser de “første” bogstaver (Rafal, 1998).

Forskningen har næsten udelukkende koncentreret sig om den horisontale dimension, men visuel neglekt kan også optræde i de to andre dimensioner. Cowey, Small og Ellis (1994) og Halligan & Marshall (1991b) rapporterede hver for sig om to patienter, der sammenlagt udgør en dobbelt dissociation: den ene havde selektiv neglekt for stimuli inden for rækkevidde, den anden for stimuli længere væk. Cowey, Small og Ellis (1999) fandt dog i studiet af en gruppe patienter, at der ikke skete nogen brat ændring, når stimuli blev bevæget ud over "reaching space"-grænsen. Generelt er rapporter om denne dissociation "sporadiske" (Cowey et al., 1999), men den synes altså at kunne forekomme i enkelte tilfælde.

En anden sjældent rapporteret neglektform er *vertikal* neglekt, hvor det typisk er nederste halvdel af synsfeltet, der overses (Ladavas, Corletti og Gori, 1994; Butter, Evans, Kirsch og Kewman, 1989; Rapczak, Cimino og Heilman, 1988). Der er dog også beskrevet enkelte tilfælde med øvre neglekt (Shelton, Bowers og Heilman, 1990). Nedre neglekt synes at være forbundet med parieto-occipital skade (i det visuelle systems dorsale bane⁶), mens øvre neglekt er forbundet med skade i den ventrale bane. Skaderne i de nævnte artikler var bilaterale.

Fundene er i overensstemmelse med en generel teori om den neurale basis for visuel opmærksomheds vertikale aspekt (Previc, 1990). Previc' teori - der i øvrigt er baseret på et bredt neurofysiologisk grundlag, og ikke blot hjerneskadestudier - hævder, at opmærksomhed mod det øvre og nedre synsfelt varetages af henholdsvis den ventrale og dorsale bane i synssystemet. Previc' teori repræsenterer muligvis en oversimplificering (for en samling af debatindlæg, se Behavioral and Brain Sciences, 13, 1990). Teorien kan dog levere en nyttig forståelsesramme for en række fund, inklusiv et par bemærkelsesværdige i nærværende projekt (se kapitel 9). Jeg vil vende tilbage til Previc' teori i diskussionen af disse resultater.

Enkelte undersøgelser antyder, at vertikal neglekt er mere hyppig end almindeligvis antaget, ihvertfald i mild form. Både Halligan & Marshall (1989) og Pitzalis, Spinelli og Zoccolotti (1997) fandt, at neglektpatienter havde signifikant flere overseelser i den nedre venstre synskvadrant end den øvre. Pitzalis et al. lavede VEP-forsøg på 16 af deres patienter, og fandt længere latenstid ved reaktion på stimuli i nedre venstre kvadrant. Forsøget kan betragtes som en præcisering af resultaterne i Spinelli et al. (1994, 1996) (se afsnit 5.2). Drain & Reuter-Lorenz (1996) fandt endvidere, at der også hos normale var et bias til fordel for det øvre synsfelt.

⁶ Det visuelle systems dorsale bane løber fra V1 mod visuelle områder i parietallappen, bl.a. MT. Systemet er blevet sat i forbindelse med spatial perception (Ungerleider & Mishkin, 1982) og visuo-motoriske funktioner (Milner & Goodale, 1995).

Det sidstnævnte fund kan give en forklaring på, at det ved vertikal neglekt næsten altid er det nedre synsfelt, der overses. Efter skade i den dorsale bane forstærkes det normale bias mod øvre synsfelt, mens skade i den ventrale bane som regel blot bevirker et mere balanceret bias (med en mulig undtagelse i omfattende, bilaterale ventrale skader, jvf. Shelton et al. (1990)). Kun den førstnævnte effekt viser sig i neglektprøver. Nærværende forsøg bekræfter flere elementer i denne hypotese, dog med det forbehold, at der ikke indgår patienter med ventral skade i projektet.

For at summere op er der altså en betydelig heterogenitet i det visuelle neglektsyndrom. Den neurale baggrund for dette kan tænkes at være en række specialiserede kredsløb i cortex, der er relevante for forskellige typer adfærd og effektorsystemer (Rafal, 1998). Disse kredsløb benytter forskellige typer perceptuel information alt efter deres formål og giver forskellige former for neglekt, når de skades.

Nogle forskere har på denne baggrund foreslået, at man skal opgive at betragte neglektsyndromet som en klinisk enhed og i stedet koncentrere sig om casestudier af dets forskellige manifestationer (Walker, 1995). For overskuelighedens skyld bør den overordnede neglektkategori nok bevares, men der er god *raison* i at holde øje med individuelle variationer. Caseundersøgelser, som i det nærværende projekt, er derfor meget velegnede til at studere visuel neglekt.

6.2. Non-spatiale aspekter af visuel neglekt

Ovennævnte gennemgang, der afspejler den traditionelle neglektforskning, har fremstillet forstyrrelsen som et næsten pr. definition spatialt fænomen: en forstyrrelse, hvor patienten overser en bestemt del af synsfeltet. I de senere år er non-spatiale aspekter af neglektsyndromet imidlertid blevet fremhævet i en række artikler. I tidligere kapitler er vi allerede stødt på nogle af disse, for eksempel Husain et al. (1997), Duncan et al. (1999) og I.H. Robertson & Manly (1999).

Husain et al. (1997) fandt som nævnt, at opmærksomhedens blink er abnormt forlænget hos neglektpatienter. Disse forskere var således nogle af de første til at påvise, at forstyrrelsen også omfatter perceptionens *tidslige* aspekt. Duncan et al. (1999) supplerede dette fund med påvisningen af *bilaterale* deficits i visuel forarbejdningshastighed. De to fund giver mening inden for en generel teori om neglekt, der ser fænomenet som en forstyrrelse i *både* den spatiale opmærksomhed og det kortikale arousalsystem (I.H. Robertson, 1993).

Det kortikale arousalsystem er som nævnt i kapitel 5 særligt afhængigt af den højre hemisfære. I.H. Robertson mener, at dette kan forklare neglekts hyppige association med skade i denne side af hjernen. Selv om der også findes strukturer i den venstre hemisfære, der er vigtige for spatial opmærksomhed, er skade i disse områder ikke nok til at forårsage neglekt ud over den akutte

fase. Hertil kræves ifølge I.H. Robertson tillige en forstyrrelse i arousalsystemet/evnen til vedvarende opmærksomhed. En sådan forstyrrelse kan forventes at give anledning til bilaterale deficits, for eksempel den generelle langsommelighed i perceptionsprocesserne, som de nye undersøgelser tyder på.

Det spatiale aspekt af neglektsyndromet er meget veletableret og må naturligvis figurere centralt i enhver forståelse af fænomenet. Det nylige fokus på non-spatiale deficits skal ses som et supplement til denne grundlæggende forståelse af neglektsyndromet. Når dette er sagt, udgør de non-spatiale deficits måske aktuelt det mest interessante forskningsområde, da det endnu er så sparsomt belyst. Arousal-hypotesen er den mest overbevisende teori om baggrunden for de bilaterale deficits, men savner endnu bred empirisk støtte. I den forbindelse vil det være nyttigt at få undersøgt, om bilaterale opmærksomhedsdeficits virkeligt er specielt udtalte hos neglektpatienter, eller i det mindste hos højre hemisfære skadede. Husain et al. (1997) inkluderede derfor patienter uden neglekt, og udvælgelsen af patienter til det nærværende projekt er foretaget ud fra lignende overvejelser.

6.3. Visuel extinction: selvstændig forstyrrelse eller del af neglektsyndromet?

Extinction⁷ kan defineres som et fænomen, hvor patienter med unilateral hjerneskade ikke rapporterer en stimulus (visuel, taktil eller auditiv) givet kontralæSIONALT, når der samtidig præsenteres en symmetrisk ipsilæSIONAL stimulus (Vallar et al., 1994). Extinction er altså operationaliseret anderledes end neglekt, der typisk defineres ved deficits på mere komplekse, eksplorative opgaver såsom visuel søgning. Extinction synes at være en mere simpel, eventuelt basalt sensorisk forstyrrelse. Der kan dog næppe være tvivl om, at extinction har en stærk opmærksomhedskomponent.

Extinction kan således mindskes ved at give patienten instruktion om at være særlig opmærksom på stimuli i sit dårlige synsfelt. Endvidere er grænsen mellem opfattede og oversete stimuli snarere defineret af opmærksomhedens retning end af selve den vertikale midterlinie i synsfeltet. Derimod har rent sensoriske manipulationer af den oversete stimulus (forstørrelse, forstærkning af lysstyrke) minimal effekt på extinction (Pellegrino & De Renzi, 1995).

Extinction synes altså i lighed med neglekt at være en opmærksomhedsforstyrrelse, der manifesterer sig i den kontralæSIONALE side. Da de to fænomener ofte optræder i samme patient,

⁷ Det skal bemærkes, at extinctionbegrebet bruges i en anden betydning i indlærings-psykologien, hvor det betegner gradvis udslukning af adfærd, der ikke længere reforceres.

efter skade i samme anatomiske region (den højre parietallap), er de traditionelt blevet betragtet som udtryk for én underliggende forstyrrelse (Vallar et al., 1994). Isoleret extinction beskrives ofte som en mild form for neglekt, der kan optræde i recoveryfasen (Kolb & Whishaw, 1996; L. Robertson & Eglin, 1993). Den præcise relation mellem neglekt og extinction har dog altid været genstand for diskussion (Bisiach, 1991).

Selv om neglekt og extinction uden tvivl er højt korrelerede, tyder det på, at de for analytiske formål må separeres. Der er fundet dobbelte dissociationer mellem extinction og neglekt (Milner & Goodale, 1995). Mindre undersøgelser har fundet evidens for, at extinction er forbundet med mere dorsale parietale læsioner end neglekt, og ikke udviser samme grad af lateralisering (De Renzi, 1982; Vallar 1993).

Der er dog kun foretaget én større undersøgelse af de anatomiske korrelater til extinction. Vallar et al. (1994) CT-scannede en serie af 159 patienter med højresidig apoplektisk skade. I den almindelige neurologiske undersøgelse udviste 46 af disse extinction (heraf var det dog kun 24, der havde visuel extinction). Over 50% af extinctionpatienterne havde læsioner begrænset til subkortikale strukturer, hvilket kun gjaldt 25% af en anden gruppe, der havde neglekt uden extinction. Blandt de extinctionpatienter, der havde en kombination af kortikale og subkortikale læsioner var der hyppigst involvering af den hvide substans i occipitallappen og den dorsolaterale prefrontale korteks. Hvis neglekt var til stede, samlede læsionerne sig derimod om den inferiore parietallap (som forventet, jvf. afsnit 6.1).

Sammenholdt med resultaterne fra afsnit 6.1 kan det konkluderes, at både extinction og neglekt kan opstå på en heterogen anatomisk baggrund. Særligt synes extinction at kunne opstå efter unilateral skade mange forskellige steder i hjernen (i overensstemmelse med biased competition teorien, se afsnit 2.2). Selv om den højre inferiore parietallap hyppigt er involveret ved både extinction og neglekt, er der ikke noget generelt overlap mellem de skader, der kan give anledning til de to forstyrrelser. På basis af den nuværende viden må neglekt og extinction derfor beskrives som relaterede, men delvist uafhængige neurologiske syndromer. Symptomatologisk adskiller de sig blandt andet derved, at neglekt indeholder en eksplorativ komponent, der gør forstyrrelsen mere omfattende end det rent perceptuelle extinctionfænomen.

I stedet for som traditionelt at opfatte extinction som et alt-eller-intet fænomen tæt forbundet med parietal neglekt, er den hypotese blevet opstillet, at skader i (højre) parietal korteks blot giver en særlig kraftig extinctionform (Duncan, 1999). Mildere former for extinction kan i stedet forventes efter unilateral skade andre steder i hjernen, eventuelt svagere i venstre side. Metodikken i det

nærværende studie er velegnet til at undersøge denne hypotese. Partial report eksperimentet (kapitel 9) giver mulighed for ikke blot at konstatere tilstedeværelsen af extinction, men også at kvantificere forstyrrelsens sværhedsgrad. Desuden indgår både patienter med og uden parietal skade.

Tolkningen af resultaterne i partial report kompliceres af et fænomen, der næsten ikke er beskrevet forskningen, men som kort skal introduceres her. I endnu højere grad end ved neglekt har man koncentreret sig om den horisontale dimension i extinction. Der er mig bekendt kun rapporteret om vertikal extinction i to studier. Butter et al. (1989) og Rapczak et al. (1988) bemærker i forbindelse med deres undersøgelse af to patienter med vertikal neglekt, at der også var extinction for nedre stimuli. I begge studier begrænsede undersøgelsen sig dog til en simpel neurologisk konfrontationstest, og den vertikale extinction blev ikke karakteriseret nærmere. Den vertikale extinctiontendens, der i nærværende studie fandtes blandt både normale og hjerneskadede, må derfor forsøge at knytte an til forskningen i vertikal *neglekt*. Bortset fra, at denne forskning i sig selv er ret sparsom, er der også problemet med at slutte direkte fra viden om neglekt til extinction. Jeg vender tilbage til denne problematik i diskussionen af partial report resultaterne (kapitel 9).

For fuldstændighedens skyld bør det også nævnes, at extinction kan forekomme i den temporale dimension; altså som interferens mellem to stimuli separeret i tid. Dette er et relativt nyopdaget fænomen, som vi dog allerede er stødt på i andre sammenhænge. Opmærksomhedens blink er et normalpsykologisk udtryk for temporal extinction. Som nævnt er dette blink abnormt forlænget hos neglektpatienter (Husain et al., 1997). Faktisk kan man hævde, at der *altid* kan påvises et temporalt aspekt i extinction (Pellegrino, Basso og Frasinetti, 1998). Som konkluderet i kapitel 2 er der meget der tyder på, at opmærksomhedsprocesserne forløber over længere tidsintervaller (i størrelsesordenen flere hundrede millisekunder). Også extinctionmekanismen kan forventes at være påvirkelig under dette tidsforløb, som Pellegrino et al.s (1997) forsøg med asynkron stimulation har antydnet (se afsnit 2.1.2). Da en sådan asynkron stimulation ikke indgår i mine eksperimenter, vil jeg dog ikke diskutere fænomenet nærmere.

6.4. En bemærkning om simultanagnosi

Simultanagnosi er det tredje af de klassiske opmærksomhedssyndromer. Da ingen af patienterne i projektet havde denne forstyrrelse, vil jeg ikke ofre så megen plads på diskussionen som jeg har gjort ved neglekt og extinction. Flere af patienterne i studiet udviste dog resultater, der havde visse ligheder med simultanagnosi, og for sammenligningens skyld er det vigtigt at kende forstyrrelsens grundlæggende karakteristika. Det er for det første væsentligt at vide, at betegnelsen simultanagnosi i realiteten bruges om *to* forskellige syndromer:

Den første type simultanagnosi ses typisk i forbindelse med *Balints syndrom*, der opstår efter bilateral occipito-parietal skade (De Renzi, 1982; Farah, 1990). Balints syndrom omfatter tillige en okulomotorisk forstyrrelse (manglende evne til voluntært at dirigere øjnene) og optisk ataksi (manglende evne til at styre gribe- og pegebevægelser ved synets hjælp). Den simultanagnostiske komponent af syndromet består i, at *kun et objekt kan ses ad gangen*. Perceptionen har en ”stykvist” karakter, der for eksempel gør, at de enkelte dele i komplekse billeder ikke relateres til helheden. Ikke-attenderede objekter opfattes slet ikke, og når patienterne bevæger sig rundt, opfører de sig som blinde. Synsfelterne kan dog ofte vises at være intakte, og ”blindheden” er i realiteten et opmærksomhedsfænomen (Farah, 1990).

En anden, lidt sjældnere rapporteret variant af simultanagnosi kan opstå efter venstresidig skade i den inferiore occipito-temporale region (”ventral” simultanagnosi til forskel fra ovennævnte ”dorsale” variant; Farah, 1990). Denne form for simultanagnosi adskiller sig ved, at patienterne godt kan *se* flere objekter, men kun *identificere* ét ad gangen. De kan således i modsætning til patienter med Balints syndrom bevæge sig rundt uden at støde ind i forhindringer, og kan tælle prikker spredt på et ark papir (ibid.). Derimod kan de kun læse med største besvær, og de kan heller ikke afkode komplekse billeder. Kinsbourne & Warrington (1962) fandt, at patienter med ventral simultanagnosi havde normale tærskelværdier for opfattelse af enkeltvis takistoskopiske stimuli, men i tilfælde af to simultant præsenterede stimuli måtte have langt mere ekstra tid end normale.

På baggrund af fund som disse er det en oplagt hypotese, at begge former for simultanagnosi har at gøre med ekstreme kapacitetsbegrænsninger i den visuelle opmærksomhed (Duncan et al., 1999; Farah, 1990). Man kunne for eksempel forestille sig, at der kun var plads til ét element i patienternes visuelle korttidshukommelse ($K=1$). Foreløbige undersøgelser tyder dog på, at dette ikke nødvendigvis er tilfældet, ihvertfald for patienter med ventral simultanagnosi (Duncan et al., 1999). I stedet er det tænkeligt, at baggrunden for det simultanagnostiske fænomen snarere findes i en ekstremt lav visuel forarbejdningshastighed (ibid.). Dette er dog kun en meget foreløbig hypotese, og simultanagnosi må endnu siges at være et dårligt forstået fænomen.

7. DET EMPIRISKE PROJEKT: INTRODUKTION

7.1. Baggrund: projektet i praksis

Et forskningsprojekt er andet end den uproblematisk planlægning og dataindsamling, man ofte får indtryk af i videnskabelige artikler. Der opstår mange praktiske problemer undervejs, som i bedste fald kan medføre udvikling, i værste fald kompromittering af det endelige projekt. Mit projekt var ikke anderledes i denne henseende, og det kan derfor være nyttigt at kende den praktiske baggrund for projektet, før det præsenteres mere formelt.

I efteråret 1999 var jeg på udkig efter et empirisk projekt, der kunne danne basis for et speciale i neuropsykologi. Efter at have hørt en smule om et studie i England (der senere blev publiceret som Duncan et al. (1999), se afsnit 7.2) kontaktede jeg Claus Bundesen for at undersøge, om det var muligt at lave et lignende projekt. Jeg blev forelagt materiale om projektet i England, tillige med baggrundslitteratur om TVA-modellen. Jeg synes tilgangen var spændende i neuropsykologisk sammenhæng, og besluttede at lægge mit specialeprojekt inden for dette område. Jeg kontaktede chefspsykolog Hysse Forchhammer på Gentofte Amtssygehus, og fik tilsagn om et samarbejde om rekruttering af patienter. I udgangspunkt virkede projektet således praktisk realistisk at gennemføre.

I februar 2000 var jeg klar med en foreløbig projektbeskrivelse: jeg ville bruge det eksperimentelle design fra England til at undersøge et bredere udsnit af opmærksomhedsforstyrrelser end den klassiske parietallapsneglekt. Tillige ville jeg supplere undersøgelsen med perimetri og neuropsykologiske tests, hvilket ikke var inkluderet i det engelske studie. Selektionen af patienter blev defineret ud fra anatomiske kriterier: kravet var en fokal, stabil hjerneskade i enten den posteriore parietallap eller frontale kortex.

Det næste trin var at iværksætte et pilotforsøg, så det blandt andet kunne afgøres, om det var realistisk at udsætte hjerneskadede patienter for det omfattende program, jeg havde planlagt. På KAS Gentofte fandt jeg en 42-årig mand med højresidig parietal skade, som indvilligede i at deltage. I marts 2000 testede jeg denne patient i en whole report opgave over 8 sessioner. Pilotforsøget var opmuntrende, idet manden ikke havde nogen problemer med at gennemføre testningen, og resultaterne endvidere var gode i statistisk henseende. Det var dog en ulempe, at jeg ikke kunne gennemføre pilotforsøget med den endelige version af computerprogrammet. Dette program var først færdigudviklet på et tidspunkt, hvor det af tidshensyn var nødvendigt at sætte forsøget i gang med det samme. Dette gav dog ikke problemer af betydning.

På dette tidspunkt blev jeg opmærksom på, at det kunne blive vanskeligt at rekruttere tilstrækkeligt med forsøgspersoner fra KAS Gentofte. Mange af de indlagte patienter var i for dårlig medicinsk tilstand til at gennemføre programmet, og de blev ofte hurtigt sendt videre til andre institutioner med henblik på genoptræning, pleje eller lignende. Jeg behøvede forsøgspersoner, der havde både motivation og energi til at gennemføre et omfattende testprogram, og samtidig var stabilt tilknyttede én institution. Med Claus Bundesens hjælp blev der taget kontakt til Center for Hjerneskade, hvor netop denne type patienter er tilknyttet i månedlange forløb. På Centeret var man meget interesseret i et samarbejde. Ud fra hjernescanninger i journalerne udvalgte jeg fire patienter, hvis hjerneskader passede rimeligt godt til de kriterier, jeg på forhånd havde opstillet for deltagelse.

Før forsøget kunne sættes i gang, var det dog nødvendigt at bringe en række praktiske forhold i orden. I samråd med lektor Tom Teasdale blev de etiske krav til forsøget vurderet, og jeg udfærdigede en samtykkeerklæring til forsøgspersonerne. Computerprogrammet blev udviklet i samarbejde med ph.d.-studerende Søren Kyllingsbæk, og måtte gennem mange prøvekørsler og korrektioner, før det nåede sin endelige form. I samarbejde med neuropsykolog Hanne Udesen fra Rigshospitalet udvalgte jeg en række opmærksomhedstests, blandt andet Mesulams afkrydsningsopgave. Der var endvidere det problem, at patienterne måtte undersøges for synsudfald, men at en øjenlægeundersøgelse næppe var realistisk. Løsningen blev, at jeg over internettet fik kontakt med en tysk neuropsykolog (Erich Kasten), som havde udviklet et computerprogram til perimetrisk testning. Han indvilligede i at sende en kopi til København.

Dernæst afholdt jeg informationsmøder på Center for Hjerneskade for både personale og kursister. De fire mulige forsøgspersoner blev kontaktet gennem deres primærterapeut. Tre af de fire viste sig interesserede, og efter at have underskrevet et informeret samtykke blev testningen påbegyndt. De mange forberedende manøvrer havde imidlertid gjort, at der nu kun var cirka en måned til at gennemføre testningen. Forårsprogrammet på Center for Hjerneskade afsluttes sidst i maj måned, og herefter ville det være meget vanskeligt at teste patienterne. Til alt held viste de tre forsøgspersoner sig meget samarbejdsvillige, og den sidste testningssession blev gennemført en time før holdets afslutningshøjtidelighed.

I juni 2000 fik jeg kontakt med Center for Specialundervisning, og fandt i deres elevkartotek tre patienter med parietal neglekt. Alle tre viste sig interesserede, men på grund af sommerferie kunne kun én patient nå at blive færdigtestet i juli måned. Én af de to øvrige neglektpatienter døde pludseligt. Den anden patient vil blive inkluderet i det endelige projekt.

Sideløbende blev kontrolpersoner rekrutteret gennem annoncering og personlige kontakter. To personlige bekendte (BO, JG) udførte testningen gratis, mens fire kontrol-personer (RV, LS, HG,

ZM) hver modtog 900 kr. for 12 testsessioner. Kontrolpersonerne blev testet i perioden april-juli 2000. Aldersmæssigt matchede kontrolgruppen kun de to yngste patienter (GL og OC). Patienterne JZ og GD burde ideelt set matches med en kontrolgruppe på 3-4 personer i 50-70 års alderen. Inden for specialeprojektets tidsramme lykkedes det desværre ikke at rekruttere normalpersoner fra denne aldersgruppe. Det er dog planen at bringe dette i orden, hvis resultaterne skal indsendes til publikation.

Hver af de 10 forsøgspersoner gennemførte 11-14 testsessioner. I alt forestod jeg cirka 125 testsessioner i perioden april-juli 2000, svarende til cirka 20.000 enkeltrials. Herudover omfattede undersøgelsesprogrammet en MR-scanning (GL), der blev udført på Hvidovre Hospital i august 2000. På grund af bureaukratiske vanskeligheder blev JZs MR-scanning ikke foretaget i tide til at kunne inkluderes i specialeprojektet. I stedet var det kun muligt at skaffe en skriftlig beskrivelse af en CT-scanning foretaget få dage efter skadens indtræden. De to øvrige patienters (OC og GD) MR-billeder blev indhentet fra Slagelse Centralsygehus og Rigshospitalet (v. neuropsykolog Hanne Udesen). Desuden blev en SPECT-scanning af OC indhentet fra den neurologiske afdeling på Rigshospitalet. Lektor Anders Gade og neurolog Klaus Hansen bidrog ved tolkningen af billederne.

7.2. Studiet i England

Det nærværende projekt har som nævnt brugt et engelsk studie som forlæg: Duncan, Bundesen, Olson, Humphreys, Chavda og Shibuya (1999). Den eksperimentelle procedure var grundlæggende den samme (se afsnit 7.3), og den statistiske TVA-analyse (se kapitel 8,9 og 10) var identisk. De to studier adskilte sig blandt andet ved, at nærværende projekt omfattede nogle supplerende undersøgelser: perimetri, neuropsykologisk testbatteri og MR-scanninger i stabil fase. Den vigtigste forskel var dog, at to forskellige patientpopulationer blev undersøgt.

I Duncan et al. (1999) undersøgte man ni patienter med læsioner omfattende den højre inferiore parietallap. Alle havde udvist kliniske tegn på neglekt og/eller extinction i den akutte fase. Patientgruppens præstationer blev sammenlignet med syv kontrolpersoner. Der var således tale om et gruppestudie, hvorimod nærværende undersøgelse på grund af patientgruppens heterogenitet primært tog form af individuelle casestudier.

Duncan et al. fandt overordnet, at gruppen af neglektpatienter udviste bilaterale kapacitetsdeficit: nedsat C og K i begge synsfelter. K -værdierne var næsten ens i hvert synsfelt, mens C -værdierne var lidt sværere nedsat i venstre side. Desuden fandtes nedsat opmærksomhedsvægtning og sensorisk effektivitet i venstre side. Overraskende var patienternes voluntære styring af opmærksomheden ikke dårligere end normalpersonernes, heller ikke i venstre

side. Da der kun indgik patienter med skader i én anatomisk region, var det dog ikke muligt at konkludere, om fundene i undersøgelsen var specifikke for patienter med skader i højre parietallap, eller mere generelle følger af hjerneskade. Nærværende projekt fulgte op på dette spørgsmål ved at undersøge en mere heterogen gruppe af hjerneskadede.

7.3. Undersøgelingsprogrammet

Alle forsøgspersoner gennemførte det samme undersøgelingsprogram i en fastlagt rækkefølge. Kernen i eksperimentet var en tredelt computertestning: whole report, partial report og color report. Computerprogrammet var konstrueret efter forskriften i Duncan et al. (1999). Konkrete fysiske forhold i forsøgsopstillingen, skærmens lysstyrke o.l. gjorde dog, at man ikke kan regne med, at mine forsøgspersoner fik eksakt samme stimulation som forsøgspersonerne i England. Endvidere skulle alle forsøgspersoner gennemføre en computeriseret perimetri for at kontrollere for blinde punkter i synsfeltet. Et neuropsykologisk testbatteri blev givet til alle forsøgspersoner, og i patienternes tilfælde blev MR-scanninger anvendt til at fastlægge skadens locus. Enten blev allerede foreliggende scanninger brugt (OC, GD), eller nye blev udført (GL). Som nævnt blev JZ ikke scannet indenfor specialeprojektets tidsramme, og i skrivende stund foreligger der kun en skriftlig beskrivelse af en CT-scanning.

7.4. Forsøgsdeltagerne

Tre elever fra Center for Hjerneskades forårsprogram og en tidligere elev ved Center for Specialundervisning blev udvalgt efter kriteriet: "rimeligt velafgrænset hjerneskade i ét af to områder: den posteriore parietallap eller frontal cortex"⁸. Det var endvidere et krav, at der forelå en brugbar MR-scanning af hjerneskaden, eller at en sådan kunne foretages. Demens, svær afasi eller centrale synsudfald var eksklusionskriterier.

Tre mænd (OC, 38 år; JZ, 56 år; GD, 61 år) og en kvinde (GL, 34 år) deltog. Alle fire brugte briller, men ingen med en styrke over ± 2 . GL opgav venstre hånd som dominant, mens de øvrige var højrehådede. Patienternes skader kan i alle fire tilfælde karakteriseres som unilaterale, selvom OCs traumatiske læsionstype gav særlige lokaliseringsproblemer (se appendix A). I alle tilfælde var skaden over et halvt år gammel. Det kan derfor antages, at skaden var stabil og ikke forandrede sig i løbet af undersøgelsesperioden, der omfattede en måneds tid. I modsætning til Duncan et al. (1999)

⁸ Udvalgelsen skete på baggrund af journaloplysninger om tidligere hjernescanninger. I et tilfælde (GL) viste projektets egen MR-scanning, at journalens oplysninger om frontal skade kun var delvist korrekte, og at skaden var overvejende subkortikal (se appendix A).

blev der kun brugt scanninger fra den akutte fase i ét tilfælde (JZ)⁹, mens de øvrige patienters billeder var taget 4-16 måneder efter skadens indtræden. Damasio & Damasio (1989) betragter scanninger foretaget mere end 3 måneder post-insult som pålidelige udtryk for skadens kroniske, stabile form. Når der ses bort fra JZ, var både den neuropsykologiske testning og MR-scanningerne således foretaget i den kroniske fase, og de to målinger var derfor direkte sammenlignelige.

Case 1: OC

OC er en mand med folkeskoleuddannelse, der tidligere har arbejdet med maskinbetjening på fabrik. På undersøgelsestidspunktet var han 38 år. Omtrent 8 måneder tidligere (august 1999) blev han overfaldet og fik adskillige slag mod ansigtet. Han blev indlagt i vågen tilstand, men har amnesi af flere dages varighed for begivenhederne omkring indlæggelsen. Akut CT-scanning viste fraktur i venstre temporalregion, sinus frontalis, venstre orbitavæg, næseskellettet samt sinus maxillaris. Der var desuden betydelige mængder luft intrakranielt, for hvilket OC blev intuberet umiddelbart efter ankomst til neurokirurgisk afdeling. En uge efter skadens indtræden fremtrådte OC med organisk psykosyndrom med desorientering i tid og sted. SPECT-scanning 10 dage efter skadens indtræden viste hypoperfusion i venstre temporalregion og frontallap (se appendix A). CT-scanning tre dage herefter viste normalt ventrikelsystem, men følger efter venstresidigt frontalt subduralt hæmatom.

Neuropsykologisk undersøgelse to uger efter skadestidspunktet viste omfattende kognitive dysfunktioner: mangelfuld orientering i tid og sted, retrograd amnesi, eksekutiv dysfunktion, konstruktionelle vanskeligheder, lette sproglige svigt, let forringet indlæring samt noget mangelfuld sygdomserkendelse. Ved neuropsykologisk kontrolundersøgelse tre uger herefter var der sket klare fremskridt, men der resterede stadig nogen reduktion inden for de fleste områder, især med hensyn til planlægning og overblik. Den visuelle funktion blev vurderet som upåfaldende, bortset fra at OC rapporterede om svimmelhed under opgaver med visuel søgning. Efter traumet, der blandt andet beskadigede det ene øje, blev OC nærsynet og fik briller. Hans syn var dog godt nok til at køre bil.

OC deltog i Center for Hjerneskades genoptræningsprogram i perioden februar-maj 2000, sideløbende med testning i nærværende projekt. MR-scanning i juni 2000 viste kontusionsfølger i venstre frontallap, men ikke påvirkning af synsnerven (se appendix A). OC arbejder i dag på deltid i sin tidligere stilling.

⁹ OCs MR-scanning blev dog suppleret af en SPECT-scanning fra den akutte fase.

Case 2: GD

GD er en mand med mellemskoleeksamen, der i 35 år har drevet eget landbrug. Han var på undersøgelsestidspunktet 61 år. 10 måneder tidligere (juli 1999) blev han hasteindlagt efter pludseligt opstået impressiv og ekspressiv afasi. Akut CT-scanning viste frontoparietalt infarkt i venstre hemisfære. Der var ingen parese eller kraftnedsættelse. Tre dage efter skadens indtræden udviste HE ekspressiv afasi, Gerstmanns syndrom (akalkuli, højre-venstre konfusion, fingeragnosi og dysgrafi), dysleksi, indskrænket auditiv hukommelsesspændvidde, fluktuerende opmærksomhed og lettere orienteringsvanskeligheder. Ved undersøgelse tre måneder senere påvistes kun lettere sproglige vanskeligheder, men stadig nedsat hukommelsesspændvidde og indlæringsproblemer. MR-scanninger i september og november 1999 viste ar efter to blodpropsdannelser i insula og det parieto-occipitale område i venstre side (se appendix A).

I februar-maj 2000 deltog GD i et genoptræningsprogram på Center for Hjerneskade. Ved den afsluttende neuropsykologiske undersøgelse konkluderedes det, at den auditive hukommelsesspændvidde og det psykomotoriske tempo stadig var let nedsat. Der var endvidere lettere indlæringsproblemer, diskrete impressive vanskeligheder og struktureringsproblemer ved komplekse opgaver. Derimod blev der ikke konstateret visuelle eller visuo-konstruktive deficits. I dag har GD genoptaget sit landbrug, men arbejder under supervision.

Case 3: JZ

JZ er en mand med teknikeruddannelse, der tidligere har arbejdet som elektriker. Han var på undersøgelsestidspunktet 56 år. I forbindelse med en bypass-operation tre år tidligere (marts 1997) udviklede han postoperativt venstresidig hemiparese med blikdeviation mod højre samt neglekt. Ud over en let dysartri var der ingen tegn på afasi. Akut CT-scanning viste et større højresidigt mediainfarkt uden tegn på blødning (se røntgenbeskrivelse i appendix A). I en neuropsykologisk testning tre måneder senere påvistes tydelig venstresidig neglekt med en vis anosognosi. Desuden sås visuo-konstruktive og visuo-perceptuelle deficits. Verbal hukommelse og auditiv spændvidde var let nedsat.

I forbindelse med en karkirurgisk indlæggelse et halvt år efter skadens indtræden udviklede KA postinfarkt epilepsi. Han blev sat i trileptalbehandling og har ikke siden haft krampeanfald. På undersøgelsestidspunktet var dosen 900 mg to gange dagligt. Denne medicin har en vis sløvende virkning, der ikke kan udelukkes at have påvirket testpræstationen. JZ er i dag førtidspensionist.

Case 4: GL

GL er en kvinde med handelsuddannelse, der tidligere har arbejdet som kontorassistent. Hun var på undersøgelsestidspunktet 34 år. Omtrent 12 måneder tidligere (april 1999) blev hun indlagt med en hjerneblødning ved højre fissura sylvii (som vist af akut CT-scanning). MR-scanning fem dage senere viste angiveligt, at blødningen skyldtes et kavernøst angiom i højre frontallap, men at blødningen også havde berørt basal ganglierne. Angiomet blev fjernet operativt ni dage efter indlæggelsen. Det postoperative forløb var ukompliceret, omend indledningsvist præget af vekslende bevidsthedsniveau. Neuropsykologisk undersøgelse en måned efter skadens indtræden påviste dog omfattende kognitive vanskeligheder i form af forringet indlæring og hukommelse, nedsat koncentration, nedsat tempo samt frontal dysfunktion. Dertil kom forringet indsigt i egne vanskeligheder.

GL blev indstillet til et genoptræningsforløb ved Center for Hjerneskade, og ved forundersøgelsen i oktober 1999 bekræftedes ovennævnte kognitive problemer, omend indsigten var bedret. I februar-maj 2000 deltog GL i Center for Hjerneskades forårsprogram, sideløbende med nærværende projekts testning. Ved den afsluttende undersøgelse konkluderes det, at de tidligere kognitive problemer endnu resterede i let til moderat grad. Især var der stadig problemer med at fastholde overblikket over komplekse opgaver, og en tendens til at arbejde for hurtigt og lave fejl. Derimod blev der ikke påvist visuelle eller visuo-konstruktive problemer; specielt er GL aldrig blevet sat i forbindelse med visuel neglekt. GL blev MR-scannet i august 2000, hvor det som nævnt viste sig, at hendes skade overvejende var subkortikal (se appendix A). GL er i dag i et voksenuddannelsesforløb.

Udover de fire patienter deltog seks kontrolpersoner. Det drejede sig om to mænd (BO, 27 år; HG, 33 år) og fire kvinder (RV, 28 år; LS, 28 år; ZM, 38 år; JG, 42 år). Den gennemsnitlige alder var 32.5 år. Ved alle seks var højre hånd dominant. Kontrolpersonerne blev forsøgt udvalgt, så især alder, men også til dels køn, matchede nogenlunde til patientgruppen. Som før nævnt lykkedes dette kun delvist inden for specialeprojektets tidsramme. Fem af de seks kontrolpersoner havde en universitetsuddannelse, mens alle fire patienter havde korte uddannelser. Uddannelsesniveaulet var således ikke matchet mellem de to grupper. Da eksperimenterne i projektet testede ret basale sensoriske funktioner, kan det dog antages, at uddannelsesforskellen ikke udgjorde nogen fejlkilde af betydning.

Det var endvidere et krav, at kontrolpersonerne havde normalt syn (eller korrigeret til normalt), ikke var farveblinde og ikke havde nogen kendt neurologisk lidelse (herunder

hjernerystelse). Dette blev undersøgt ved udspørgning af kontrolpersonerne ved starten af testprogrammet. Det viste sig dog nødvendigt at ekskludere en kontrolperson fra forsøget, da det opdagedes, at synsstyrken på personens briller var for høj (-6/-7). Beklageligvis blev dette først klart, da personen havde gennemført tre testsessioner.

Alle forsøgspersoner, patienter som kontrolpersoner, underskrev et informeret samtykke, og præsenteres i afhandlingen under falske initialer for at sikre anonymitet.

7.5. Generel procedure for computertestningen

Computertestningen blev udført i et mørkelagt forsøgslokale på Københavns Universitet Amager, hvor den eneste belysning stammede fra computerskærmen og en loftvendt standerlampe. Lysforholdene var således helt konstante fra session til session.

Testningen blev udført på en IBM-PC kompatibel computer med VGA-skærm. Opdateringsfrekvensen på skærmen var som hovedregel 100 Hz, men blev i enkelte tilfælde ændret til 60 Hz, 90 Hz eller 120 Hz for at kunne ramme netop den eksponeringstid, der passede til forsøgspersonen. Afstanden mellem skærmen og forsøgspersonens øjne blev sat til 70 cm. På grund af testningens omfang blev hovedet ikke fikseret med hagestøtte; forsøgspersonen fik blot besked på at holde hovedet i en afstand, der var omtrentlig korrekt. Man kan regne med, at de visuelle vinkler på stimuli har været stort set ens på tværs af enkeltrials og testsessioner.

Forsøgspersonerne fik ved starten af hver opgavetype en standardiseret instruktion fra en manual, som blev gentaget efter behov. Det blev indskærpet, at det var meget vigtigt at fiksere på et centralt placeret kryds ved starten af hver trial. For JZ, der havde visse okulomotoriske problemer, blev fikseringskravet særligt kraftigt understreget. I de første sessioner blev øjenbevægelser monitoreret af undersøgeren (TH), der sad overfor. Da der imidlertid ikke viste sig nogen problemer, blev fikseringskravet siden blot indskærpet med jævne mellemrum. Dette svarer til erfaringer fra lignende forsøg (Posner, 1980; Pellegrino et al., 1997; Duncan et al., 1999), hvor fikseringskravet heller ikke gav anledning til problemer.

Når forsøgspersonen sagde "kryds!" (som tegn på, at fikseringen var på plads) blev bogstavvisningen straks udløst af eksperimentator ved et tryk på tastaturet. Fikseringskrydset forsvandt umiddelbart derefter, og 100 ms. senere vistes bogstaverne i en på forhånd specificeret eksponeringstid. Bogstaverne var enten røde eller grønne (farverne var forsøgt udvalgt, så de var lige lette at rapportere) og blev vist på en sort baggrund. Hvert bogstavs højde udfyldte en visuel vinkel på 0,7 grader. Bogstaverne blev udvalgt tilfældigt fra mængden

ABEFHJKLMNPRSTWXYZ, uden tilbagelægning i den enkelte trial. Visningen blev efterfulgt af enten en tom skærm eller en maske, der blev eksponeret i 500 ms.

Forsøgspersonen rapporterede derefter i eget tempo de bogstaver, som han/hun var "rimeligt sikker" på at have set. Det blev understreget, at gæt ikke var tilladt. Enkelte forsøgspersoner (JG, HG, ZM) tolkede i øvesessionen rapporteringskriteriet for liberalt og fik fejlprocenter på 20-30%. Dette rettede sig imidlertid, da de blev pålagt at være mere konservative i deres rapporteringer. I whole report forsøget, hvor forsøgspersonernes præstation skulle sammenlignes direkte, var fejlprocenten rimeligt homogen (2,3 %-9,3 %; gennemsnit: 5,7%). I partial og color report var der større spredning i fejlprocenten (hhv. 1,8%-20% og 0,6%-18,8%). Dette var imidlertid ikke så kritisk i disse opgaver, hvor kun *mønsteret* i præstationen, og ikke dens absolutte niveau, sammenlignedes direkte mellem forsøgspersonerne. Man kunne altså ikke opnå nogen højere score ved at "gætte" mere end de øvrige forsøgspersoner. Den uundgåeligt subjektive karakter af rapporteringen kan dog siges at være en væsentlig fejlkilde i forsøget (dette diskuteres i kapitel 11).

De enkelte trials blev vist i blokke af 24 (whole report og color report) eller 32 (partial report). En typisk testsession omfattede 5-7 testblokke, eksklusiv en uscoret opvarmningsblok, der indledte sessionen. Denne opvarmningsblok tjente også til kalibrering af forsøgspersonens subjektive kriterium for rapportering. Det blev påtalt, hvis personen var for liberal i sine svar (defineret som flere end 3 fejl pr. blok). For at undgå udtrætning blev der aldrig foretaget flere end 300 trials pr. session. Sessionen blev typisk afviklet i løbet af 30-45 min., hvilket inkluderede små pauser til forsøgspersonen. Der blev aldrig gennemført mere end én testsession pr. dag. Det standardiserede forsøgsprogram omfattede 1360 scorede trials, tillige med ca. 500 uscorede trials til opvarmning og kalibrering af eksponeringstider. Forsøgspersonerne gennemgik omtrent lige mange trials for at kontrollere, at øvelseseffekten var den samme for alle deltagere. Øvelseseffekten syntes dog at være negligerbar bortset fra den præstationsforbedring, der forekom i de uscorede træningssessioner.

Enkelte forsøgspersoner (GD og OC) gennemgik af praktiske årsager lidt færre scorede trials, henholdsvis 1128 og 1296. Disse to personer gennemgik dog et tilsvarende antal opvarmnings- og øvelsestrials som de øvrige. Testningen forløb over 11-14 testsessioner, hvilket i hvert tilfælde blev afviklet inden for to måneder.

8. EKSPERIMENT 1: WHOLE REPORT

8.1 Rationalet bag whole report

I whole report eksperimenter forsøger observatøren at gengive al information i stimulusfeltet. Metoden er således den prototypiske *måling af kapacitet for delt opmærksomhed*: hvor mange separate stimuli kan opfattes, og hvor hurtigt? Ifølge klassifikationen fra kapitel 5 er der tale om en måling af de strukturelle kapacitetsbegrænsninger, nærmere bestemt af den visuelle forarbejdningshastighed og størrelsen af den visuelle korttidshukommelse. Derimod måles den energetiske faktor ikke direkte, men udgør i stedet en fejlkilde i forsøget.

Den visuelle forarbejdningshastighed defineres som *antallet af opfattede elementer* (in casu bogstaver) *i forhold til eksponeringstiden*. I TVAs sprogbrug er der tale om parameteren C . Den visuelle korttidshukommelses maksimale kapacitet defineres på sin side som *asymptoten af whole report funktionen*¹⁰ (Sperling, 1960). Med andre ord som det maksimale antal bogstaver, der kan opfattes inden for et tidsrum, der ikke tillader verbal omkodning. Dette antal benævnes ved parameteren K i TVA.

En parameter af mere sekundær betydning for whole report forsøget er t_o . Dette betegner *den minimale effektive eksponeringstid* eller det tidspunkt, hvorfra informationsindsamling begynder at finde sted. Parameteren fik ikke særsomt opmærksomhed i Duncan et al. (1999). Jeg mener dog, at de individuelle t_o -værdier har en vis interesse i neuropsykologisk sammenhæng, hvilket finder støtte i resultaterne.

Whole report forsøgets formål var altså at opnå individuelle estimater for K , C og t_o . Til dette formål måtte hver forsøgspersons whole report funktion karakteriseres bedst muligt. I praksis foregik dette ved, at der blev udtaget et begrænset antal stikprøver af funktionens værdier, hvilket vil sige målinger på udvalgte eksponeringstider. For at eliminere støj i målingen blev der foretaget mange enkeltmålinger ved hver eksponeringstid. Gennemsnittet af disse målinger blev taget som estimat for whole report funktionens værdi til den pågældende eksponeringstid. Ideelt set burde der foretages uendeligt mange målinger over hele funktionens tidsforløb, men praktiske hensyn nødvendiggjorde naturligvis et kompromis i stikprøveindsamlingen.

Det konkrete whole report forsøg var udformet på en sådan måde, at der blev opnået separate estimater for parametrene i begge synsfelter (idet t_o dog begrænsedes til at være ens i begge sider).

Dette design valgtes for at belyse effekten af unilateral hjerneskade. Unilateral skade antages ofte at medføre perceptuelle deficits i det kontralæsonale felt – i relation til for eksempel visuel neglekt og extinction, jævnfør kapitel 6. Whole report forsøget undersøgte, om denne lateralisering også manifesterede sig i de perceptuelle kapacitetsbegrænsninger.

8.2. Testprocedure

Der blev vist fem bogstaver arrangeret i en vertikal søjle. Søjlen blev vist enten til venstre eller højre for fikseringspunktet. Søjlen havde en højde på 7,5 visuelle grader, og blev vist 3,3 grader fra den vertikale midterlinie. Alle stimuli faldt indenfor det centrale synsfelt på 5 grader.

Forsøgspersonen fik besked på at rapportere så mange bogstaver som muligt, men stadig være “rimeligt sikker” på svaret. Dette subjektive kriterium blev forsøgt objektiviseret gennem fejlprocenten, ud fra en antagelse om, at en homogen fejlprocent blandt forsøgspersonerne var et udtryk for samme subjektive sikkerhedsniveau. Som en følge heraf blev det påtalt i de indledende testsessioner, hvis fejlprocenten afveg fra en norm på 2-10%.

Der blev brugt tre eksponeringstider, hvoraf de to blev fastsat individuelt (se nedenfor). Eksponeringstiderne blev forsøgt udvalgt, så både det tidlige og det sene forløb af whole report funktionen blev karakteriseret bedst muligt. Den maksimale eksponeringstid var for alle forsøgspersoner 200 ms., da dette regnes for det omtrentligt længste tidsinterval, hvor øjenbevægelser kan negligeres (Humphreys & Bruce, 1989). Ud fra erfaringerne i Duncan et al. (1999) forventedes det imidlertid, at præstationsfunktionen først nærmede sig asymptoten efter 300 ms. Halvdelen af visningerne var derfor umaskerede, hvilket gav en længere effektiv eksponeringstid, da synsindtrykket så at sige “blev på nethinden” i en periode efter ophør af den fysiske stimulation (for en nærmere diskussion af denne effekt, se Humphreys & Bruce, 1989). Forlængelsen kan betragtes som konstant på tværs af eksponeringstiderne og indgår i model fitting proceduren som parameteren μ (Bundesen, 1990).

I en indledende session blev de to korteste eksponeringstider fastsat. Den laveste eksponeringstid blev forsøgt lagt så tæt som muligt på personens minimale effektive eksponeringstid (t_0). I praksis foregik dette ved, at eksponeringstiden systematisk blev nedsat, indtil forsøgspersonens rapporteringsprocent faldt til 0. Den laveste eksponeringstid, hvor der stadig blev genkendt et bogstav af og til, blev derefter udvalgt. Da forsøgspersoner almindeligvis behøver en vis øvelse i denne type opgave før præstationsniveauet stabiliseres, tog proceduren ofte flere hundrede

¹⁰ whole report funktionen beskriver antallet af korrekt rapporterede elementer som funktion af eksponeringstiden. Funktionen beskrives nærmere i appendix B.

trials. Den mellemste eksponeringstid blev lagt omtrentligt midt imellem de to øvrige, dog lidt tættere på den laveste værdi for optimalt at karakterisere den tidlige bratte stigning i præstationskurven.

Bogstavsøjlen blev således vist under 12 forskellige betingelser (2 sider * 3 eksponeringstider * 2 maskeringsbetingelser). Hver trialtype forekom to gange i hver blok, i tilfældig rækkefølge blandt de øvrige. For at få statistisk holdbare resultater blev det tilstræbt at nå 40 trials pr. trialtype, hvilket samlet giver 480 enkeltmålinger. I to af patienternes tilfælde blev dette mål ikke helt opnået (GD: n=360 og OC: n=432; hhv. 30 og 36 målinger pr. trialtype). De individuelle eksponeringstider er samlet i følgende tabel:

Tabel 8.1: Whole report eksponeringstider

Kontrolgruppen	eksponeringstid/ms	Patientgruppen	eksponeringstid/ms
BO	40, 90, 200	OC	110, 150, 200
RV	40, 90, 200	GL	60, 120, 200
JG	50, 100, 200	GD	90, 140, 200
LS	30, 90, 200	JZ	70, 130, 200
HG	33, 90, 200		
ZM	33, 90, 200		

8.3. TVA model fitting

Ud fra de observerede data estimeredes whole report funktionen ved en efterfølgende model fitting. Funktionens generelle form blev antaget kendt og givet ved parametrene C , K , t_0 og μ . Funktionen kan udledes af TVAs grundlæggende ligninger, og er i øvrigt ganske kompliceret (se appendix B for matematiske detaljer). Hver forsøgspersons konkrete, individuelle whole report funktion måtte imidlertid estimeres ud fra de observerede målepunkter. Med andre ord måtte den kombination af parameterverdier findes, der gav funktionen den mindst mulige afvigelse fra personens måledata.

Model fittingen foregik ved en iterativ procedure, hvor en computer systematisk afprøvede kombinationer af parameterverdier og beregnede den tilhørende sandsynlighed for at opnå de faktiske målinger. Før hver beregningsrunde ændredes en smule på én af parametrene, og det registreredes efterfølgende, om dette resulterede i et bedre eller dårligere fit til datapunkterne. Dette gav grundlaget for en ny minimal ændring, og beregningen blev gentaget. Efter at have repeteret proceduren milliarder af gange, fandtes en stabil tilstand (et lokalt maksimum), hvor alle ændringer

førte til en forringelse af fittet. Dette blev godtaget som *maximum likelihood fit*: den kombination af parameterverdier, der gav maksimal tilnærmelse til observationerne.

Det skal understreges, at model fitting er en approksimativ procedure og ikke giver en eksakt matematisk løsning. Der er intet bevis for, at det fundne lokale maksimum også er et globalt maksimum. Med andre ord eksisterer der en principiel mulighed for eksistensen af en kombination af parameterverdier, der giver et endnu bedre fit. I praksis er dette dog ikke noget problem, hvis proceduren udføres forsigtigt. Dette vil for det første sige, at man lader iterationen starte ved nogle plausible parameterverdier. Disse værdier kan for eksempel estimeres ud fra en foreløbig, grafisk analyse af data. For det andet kan processen gentages nogle gange med lidt ændrede startværdier for at se, om computeren når til samme resultat hver gang. I så fald kan estimationen antages som gyldig.

8.4 Resultater og analyse

For at få et umiddelbart overblik over resultaterne i forsøget kan det være nyttigt at betragte dem grafisk. Den grafiske betragtning kan også anvendes som et kvalitativt check af model fittingens gyldighed. I enkelte tilfælde gav model fittingen anti-intuitive resultater, som bedst kan vurderes i sammenhæng med det umiddelbare, grafiske indtryk.

De observerede gennemsnit i hver trialtype afbildes herunder sammen med en skitse af personens estimerede whole report funktion. Hvert datapunkt repræsenterer som nævnt omkring 40 enkeltobservationer. Præstationen i hvert synsfelt afbildes separat. De individuelt estimerede parameterverdier for C , K , t_o og μ er desuden vedlagt.

(NB: fitting kurven til de teoretisk beregnede datapunkter mangler i illustrationen!)

Kontrol RV:

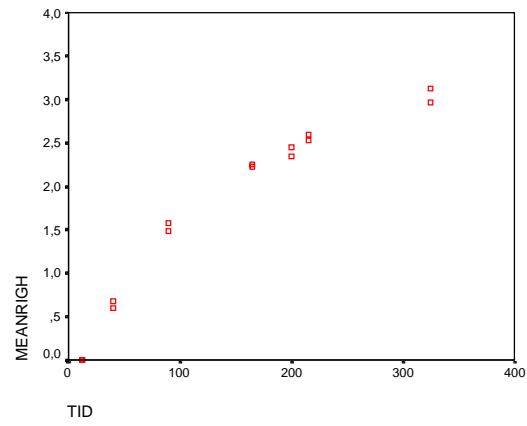
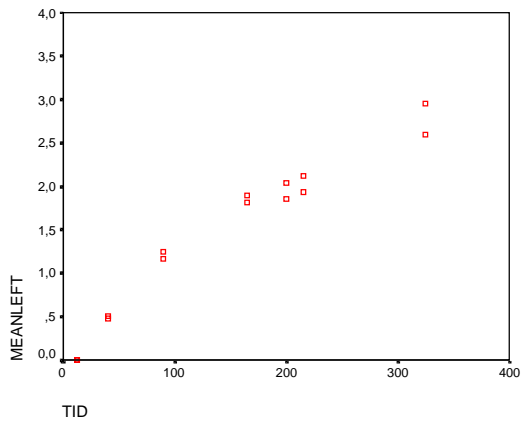
$t_o=12$ ms, $\mu=125$ ms

$C_v=20.5$ s⁻¹

$K_v=3.7$

$C_h=28.2$ s⁻¹

$K_h=3.6$



Kontrol JG:

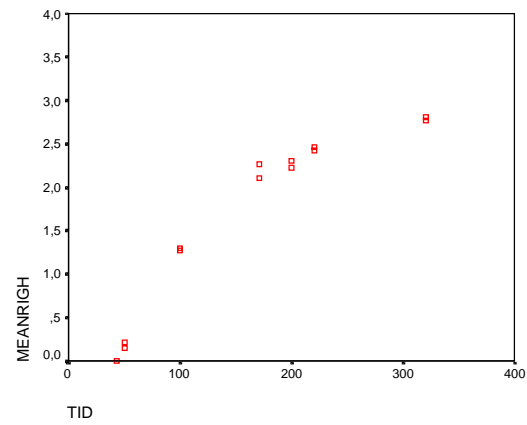
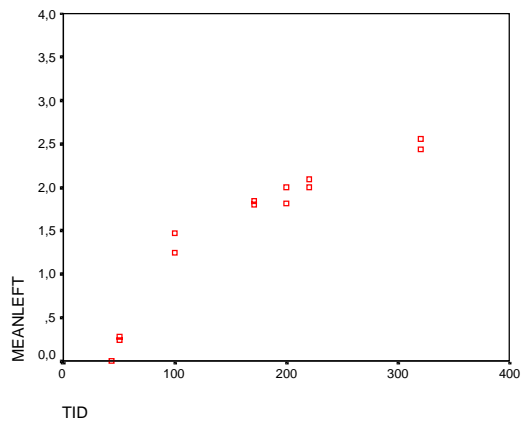
$t_o=43$ ms, $\mu=121$ ms

$C_v=37.0$ s⁻¹

$K_v=3.2$

$C_h=31.4$ s⁻¹

$K_h=3.4$



Kontrol BO:

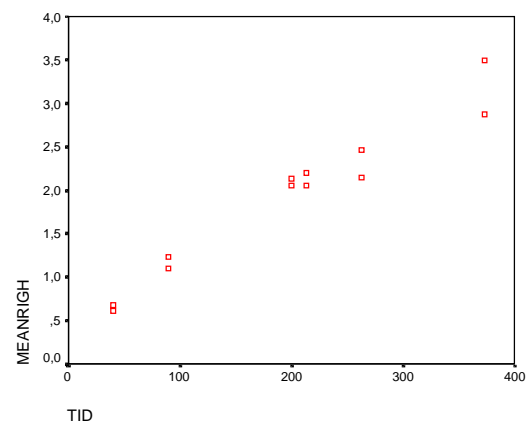
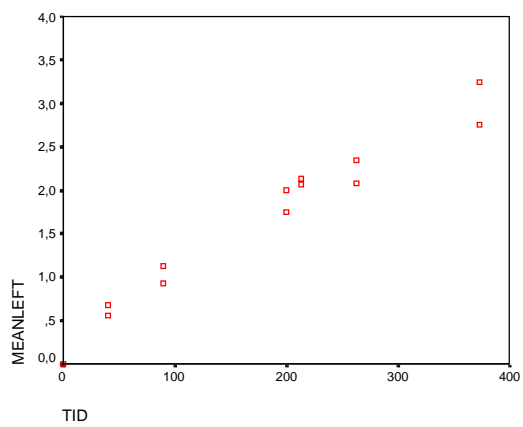
$t_o=0$ ms, $\mu=173$ ms

$C_v=15,8$ s⁻¹

$K_v=4,0$

$C_h=17,9$ s⁻¹

$K_h=4,0$



Kontrol LS:

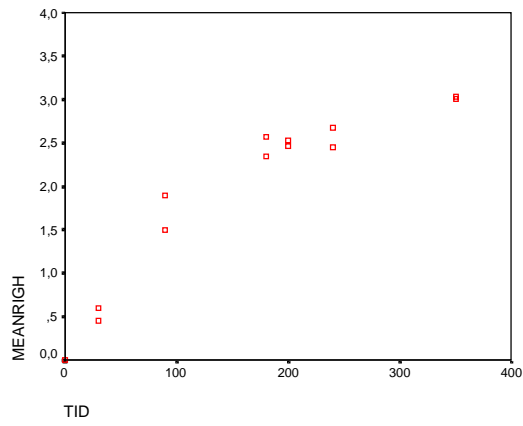
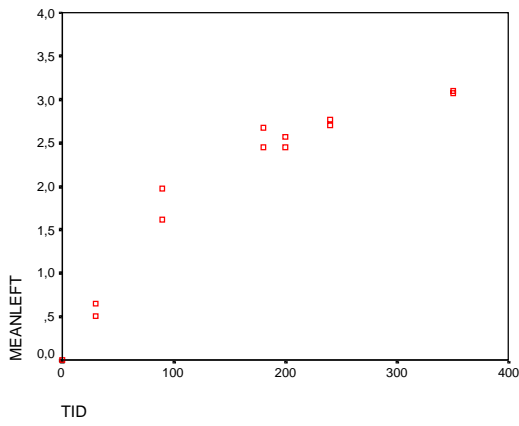
$t_o=0$ ms, $\mu=150$ ms

$C_v=24.5$ s⁻¹

$K_v=3.4$

$C_h=22.2$ s⁻¹

$K_h=3.4$



Kontrol ZM:

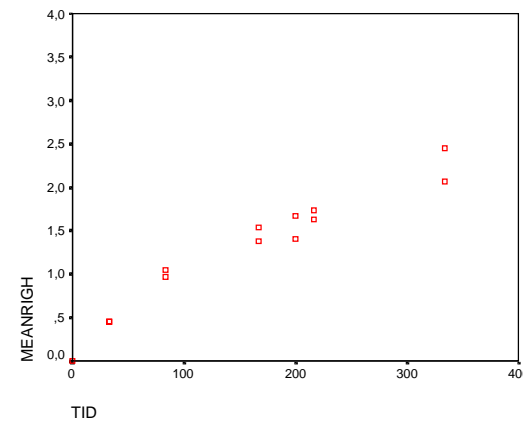
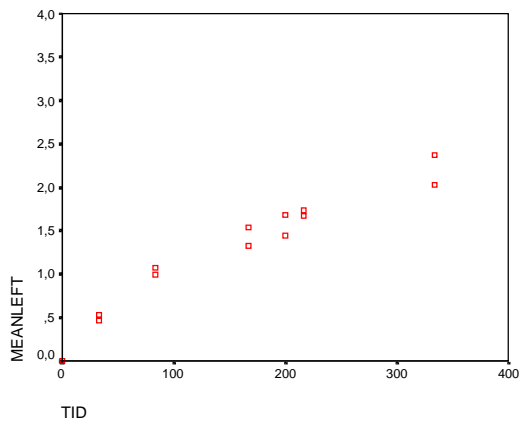
$t_o=0$ ms, $\mu=134$ ms

$C_v=16.4$ s⁻¹

$K_v=2.5$

$C_h=15.6$ s⁻¹

$K_h=2.6$



Kontrol HG:

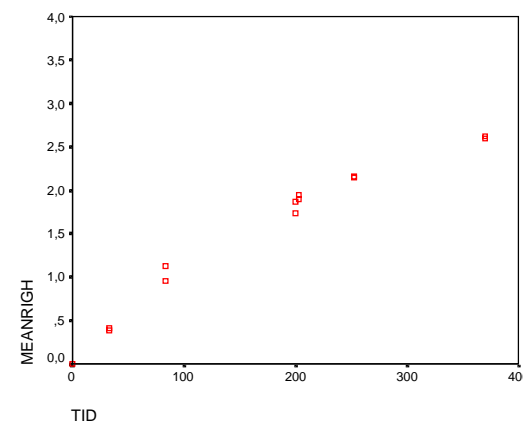
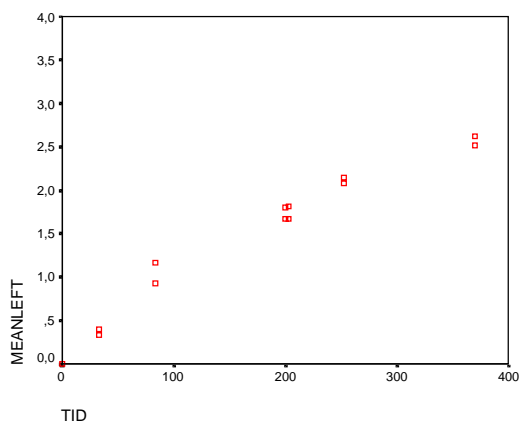
$t_o=0$ ms, $\mu=170$ ms

$C_v=13.2$ s⁻¹

$K_v=3.3$

$C_h=13.4$ s⁻¹

$K_h=3.3$



Patient GL:

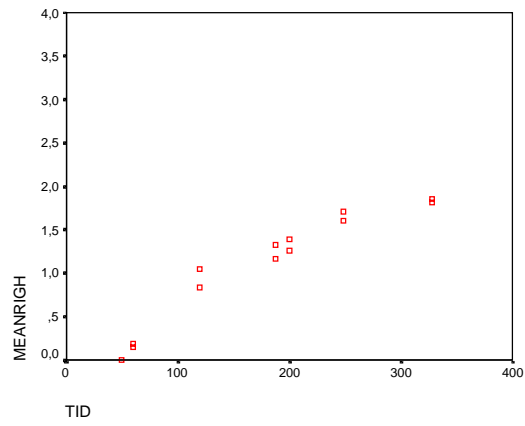
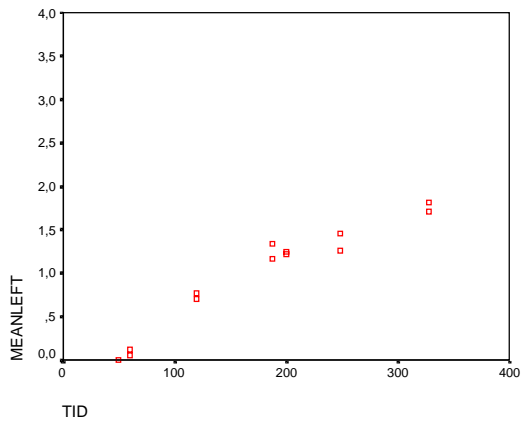
$t_o=49$ ms, $\mu=128$ ms

$C_v=11.7$ s⁻¹

$K_v=2.2$

$C_h=14.3$ s⁻¹

$K_h=2.1$



Patient JZ:

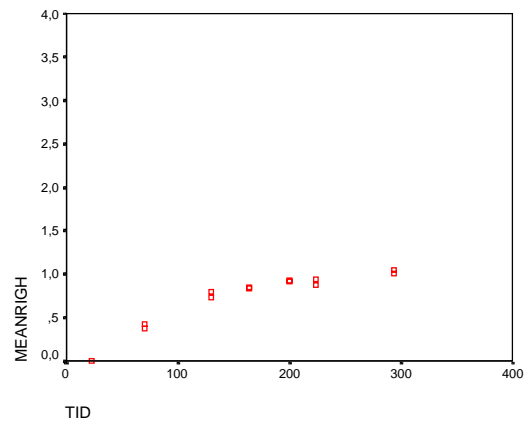
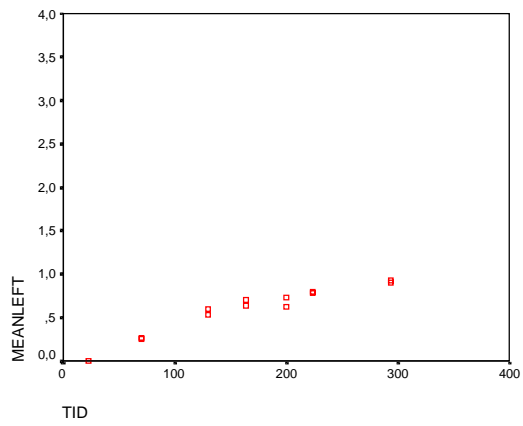
$t_o=23$ ms, $\mu=94$ ms

$C_v=6.6$ s⁻¹

$K_v=2.0$

$C_h=11.8$ s⁻¹

$K_h=1.8$



Patient GD:

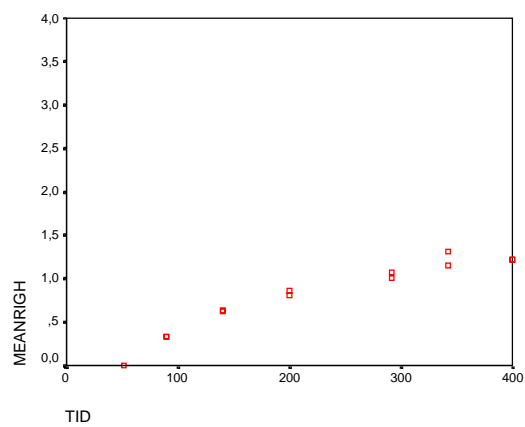
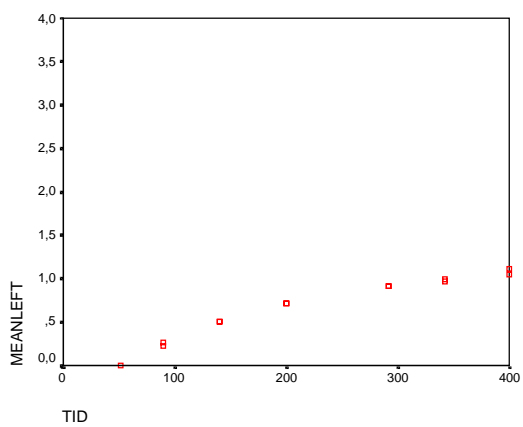
$t_o=52$ ms, $\mu=202$ ms

$C_v=7.5$ s⁻¹

$K_v=1.5$

$C_h=9.9$ s⁻¹

$K_h=1.8$



Patient OC:

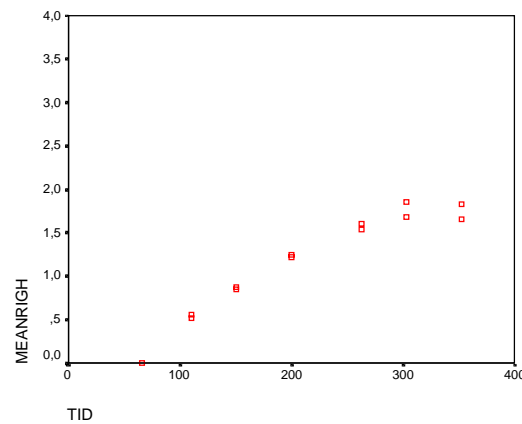
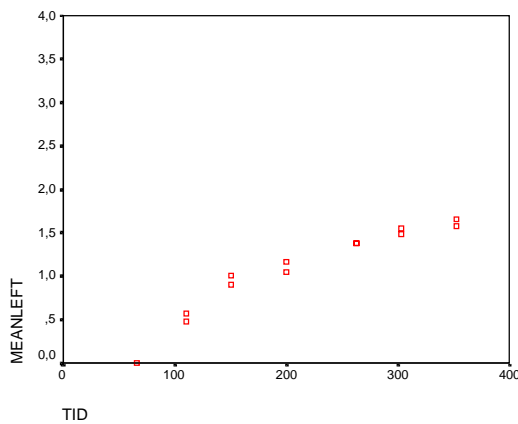
$t_o=66$ ms, $\mu=153$ ms

$C_v=16.8$ s⁻¹

$K_v=2.4$

$C_h=13.1$ s⁻¹

$K_h=2.5$



Som det ses, var model fittingen generelt vellykket, og den beregnede kurve svarer i de fleste tilfælde godt til observationerne. Dette kan tages som en bekræftelse af TVA-modellens evne til at beskrive den visuelle indkodningsproces. Tidligere studier har mere systematisk bekræftet TVA-modellens evne til at beskrive whole report data (Shibuya & Bundesen, 1988). Dette er imidlertid foregået med normale forsøgspersoner, mens nærværende resultater (sammen med de, der blev præsenteret i Duncan et al. (1999)) peger på, at modellens gyldighedsområde også omfatter hjerneskadede personer.

Der skal dog nævnes to punkter, hvor model fittingen var behæftet med usikkerhed. JZ havde i følge model fittingen et præstationsloft K på 2.0 elementer i venstre side. Dette loft befandt sig på den anden side af 1000 ms., altså langt ud over JZs måleinterval (70-294 ms.). Selv små ændringer i de observerede værdier ville have givet en anden asymptote mange hundrede millisekunder ”længere fremme”, og estimatet er således behæftet med større statistisk usikkerhed end de øvrige forsøgspersoners. JZ klarede kun at opfatte to bogstaver i 9 af sine 240 venstresidige trials. En K -værdi i intervallet 1.5-2.0 ville måske have været mere plausibel. GDs K -estimer skal til en vis grad tolkes med samme forbehold, omend de virker mere realistiske.

Det andet punkt drejer sig om de fire kontrolpersoner (HG, LS, BO, ZM) der fik estimeret en t_o -værdi på 0 ms. Det er næppe tænkeligt, at de nævnte personer slet ikke havde nogen nedre tærskelværdi for opfattelse af visuelle stimuli. Ud fra lignende forsøg (Shibuya & Bundesen, 1988) må en nedre grænse omkring 20 ms anses for mere realistisk. De usikre estimer for flere af forsøgspersonernes t_o -værdier skyldtes de praktiske problemer med at finde en eksponeringstid, hvor personen lige netop kunne opfatte et bogstav en sjælden gang (jvf. afsnit 8.2). De eksakte t_o -

værdier skal derfor ikke tillægges større betydning - bortset fra de tilfælde, hvor der blev foretaget en faktisk observation i nærheden af 0-niveauet (GL, JG). Den kunstigt lave t_o -værdi på 0 ms for de fire nævnte kontrolpersoner gjorde desuden, at deres kurve blev mere ”flad” end den ellers ville have været, og C -estimerterne dermed også blev sænket. Effekten var ikke stor, men det er altså tænkeligt, at C -værdierne for HG, LS, BO og ZM blev sat en smule for lavt. Alle estimerede parametre er samlet i følgende skema:

Tabel 8.2 Estimerede whole report parametre _____.

Person	K_V	K_H	C_V	C_H	t_o	μ
RV	3,7	3,6	20,5	28,2	12	125
BO	4,0	4,0	15,8	17,9	0	173
HG	3,3	3,3	13,2	13,4	0	179
LS	3,4	3,4	24,5	22,2	0	150
ZM	2,5	2,6	16,4	15,6	0	134
JG	3,2	3,4	37,0	31,4	43	121
JZ	2,0	1,8	6,6	11,8	23	94
GL	2,2	2,1	11,7	14,3	49	128
GD	1,5	1,8	7,5	9,9	52	202
OC	2,4	2,5	16,8	13,1	66	153

Der synes umiddelbart at være klare forskelle mellem normal- og hjerneskadegruppen med hensyn til alle væsentlige parametre. μ var undtaget fra dette mønster, men parameteren blev heller ikke på forhånd regnet for interessant i neuropsykologisk sammenhæng. Den er blot at betragte som en hjælpeparameter i model fittingen.

Før den statistiske analyse påbegyndes, er det nødvendigt at overveje parametrenes status.

Værdierne af de interessante parametre (C , K og t_o) kan antages at være målt uafhængigt på tværs af individer. Parametrene har endvidere intervalstatus, hvilket tillader, at der udregnes gennemsnit og standardafvigelser, og at det giver mening at tale om ”store” eller ”små” numeriske forskelle mellem forsøgspersonernes værdier. Derimod er det usikkert, om parametrene er normalfordelte. Tidligere undersøgelser af for eksempel K giver ikke mulighed for at afgøre dette. For at udføre parametriske tests skal normalfordelingskravet i princippet være opfyldt; ellers må der anvendes non-parametriske tests. Der er dog en vis uenighed i den statistiske litteratur om, hvor strengt man behøver at se på kravet. Clark-Carter (1997) mener, at man kan antage normalfordeling, når der blot

ikke er en markant skævhed i stikprøven, og at man i alle tilfælde kan se stort på kravet, hvis stikprøven er større end 40. Dette sidste var tilfældet i forsøgets rådata, hvor der typisk var flere tusinde enkeltobservationer. Derimod var der kun estimeret få individuelle modelparametre. Ifølge Siegel (1956) er der intet alternativ til at bruge non-parametriske tests ved stikprøver så små som $n=6$, medmindre populationens fordeling er kendt *eksakt*. For at være på sikker grund har jeg derfor valgt at analysere modelparametrene med non-parametriske tests. Disse tests kræver kun antagelser om observationernes uafhængighed og om kontinuiteten af den underliggende fordeling¹¹. En ulempe er, at non-parametriske tests generelt er mindre kraftfulde end parametriske. Med andre ord indebærer førstnævnte tests en større risiko for at fastholde nulhypotesen, hvor den i virkeligheden er falsk (i enkelte tilfælde var den parametriske test dog mest konservativ). For at have det bredest mulige grundlag for at vurdere forsøgets resultater er de relevante parametriske tests derfor vedlagt i fodnoterne.

De gennemsnitlige K -værdier i normalgruppen var henholdsvis 3,35 og 3,38 i venstre og højre synsfelt (standardafvigelse hhv. 0,51 og 0,46). Præstationerne var helt som forventet, bortset fra ZMs påfaldende lave værdier. Ud fra tidligere undersøgelser (ex. Shibuya, 1993) må det siges at være temmelig usædvanligt for en normalperson at have K -værdier under 3. Trods dette var der intet overlap mellem patient- og kontrolgruppen: ingen patient havde en K -værdi, der var større end eller lig med en kontrolpersons værdi i samme synsfelt. Sandsynligheden for dette udfald kan i hver enkelt patients tilfælde afgøres med en binomialtest (Siegel, 1956), hvis rationale kort skal beskrives. Nulhypotesen er, at en tilfældigt valgt kontrolperson lige så vel kan have større som mindre K -værdi end den givne patient. Sandsynligheden for, at en tilfældigt valgt kontrolperson har større K -værdi end patienten er altså 0,5 under nulhypotesen. Hvis a er antallet af kontrolpersoner med større K -værdi end patienten, er a binomialfordelt med $n=6$ (da der er 6 kontrolpersoner) og $\theta = 0,5$:

$$p(a) = \frac{6!}{[a! (6-a)!]} * (0,5)^6.$$

I den enkelte patients tilfælde var sandsynligheden for, at alle seks kontrolpersoner havde større K -værdi i det givne synsfelt således $p(6) = 0,016$ under nulhypotesen. Testningen var enkelt-sided, idet der på forhånd var en hypotese om, at kontrolgruppen var bedre end den givne patient. Hver

¹¹ Mann-Whitney testen kræver tillige varianshomogenitet: at variansen i den ene gruppe ikke er mere end tre gange større end variansen i den anden (Clark-Carter, 1997). Dette er dog et meget liberalt krav, der var opfyldt i alle de tilfælde, hvor testen var relevant.

sammenligning mellem en given patient og kontrolgruppen kunne endvidere antages for uafhængig af de øvrige sammenligninger, idet kontrolgruppen anvendtes som konstant norm.

Taget hver for sig afveg alle fire patienters K -værdier altså signifikant fra normalpersonernes værdier¹². Denne forskel afspejledes også på gruppeniveau, hvor der var signifikante forskelle mellem de to grupper i hvert synsfelt ($p=0,005$ for både K_V og K_H ; Mann-Whitney test, enkeltsidig)¹³.

I normalgruppen var hver persons to K -værdier højt korrelerede ($r=0,90$, $p=0,007$; Spearman's korrelationstest, enkeltsidig)¹⁴. En sådan korrelation kan ikke i sig selv tages som udtryk for en symmetrisk fordeling af K ; det kunne være, at K_V for eksempel meget pålideligt var dobbelt så stor som K_H . Da de to gennemsnit imidlertid var næsten identiske (henholdsvis 3,35 og 3,38) kan det konkluderes, at kapaciteten i VKTH var særdeles symmetrisk hos de enkelte kontrolpersoner.

Det var endvidere interessant at se, om unilateral skade førte til nedsættelse af K i et af synsfelterne. Dette ville antyde en lateraliseret organisation af den visuelle korttids-hukommelse. Alle patienter havde en smule større K -værdier i det kontralæsionale synsfelt; et overraskende fund, der dog ikke var signifikant ($p=0,13$; dobbeltsidig binomialtest)¹⁵. Fundet svækkes af, at K -estimerne som nævnt var forbundet med usikkerhed på den sidste decimal i JZs og GDs tilfælde. Nærværende undersøgelse fandt med andre ord ikke nogen patient med klar nedsættelse af K i det ene synsfelt. Den markante symmetri af K ved unilateral hjerneskade, der fandtes af Duncan et al. (1999), blev således hverken be- eller afkræftet i forsøget.

Også med hensyn til C var hver kontrolpersons to værdier højt korrelerede ($r=0,89$, $p=0,009$; enkeltsidig Spearman)¹⁶. Gennemsnitsværdierne i normalgruppen var henholdsvis $21,2 \text{ s}^{-1}$ og $21,5 \text{ s}^{-1}$ for C_V og C_H . Selv om der blev brugt verbale stimuli (bogstaver) tyder estimerne altså ikke på, at

¹² Alle patienters z -scores afveg desuden signifikant ($p<0,05$) med 2-3 SD fra kontrolgruppens norm. Udregning af z -scores kræver, udover antagelse om normalfordeling, kendskab til selve populationens gennemsnit og standardafvigelse. I praksis vil dette sige, at der foreligger et normmateriale af en rimelig størrelse. Projektets "normmateriale" på seks kontrolpersoner må siges at være småt, omend fundene af K -værdier mellem 3 og 4 tyder på, at kontrolpersonerne var typiske i forhold til tidligere undersøgelser (Shibuya, 1993; Shibuya & Bundesen, 1988). z -scores udregnet fra kontrolgruppen må betegnes som usikre. Scorerne giver dog et vist indtryk af "store" eller "små" afvigelser fra kontrolgruppen, og vedlægges derfor alligevel.

¹³ t -tests bekræftede disse højsignifikante forskelle: $p\leq 0,001$ ved begge parametre.

¹⁴ Pearson korrelationstest viste $r=0,98$, $p<0,0005$. Enkeltsidig test.

¹⁵ t -test viste dog signifikant forskel mellem synsfelterne: $p=0,035$, dobbeltsidig test.

¹⁶ Pearson korrelation: $r=0,86$, $p=0,015$, enkeltsidig test.

venstre hemisfære forarbejdede informationen hurtigere end højre hemisfære; som ved K var kapaciteten meget symmetrisk¹⁷. Den inter-individuelle variation i C var derimod ganske høj i normalgruppen: standardafvigelse var henholdsvis 8,7 og 7,2 i venstre og højre synsfelt. Den store spredning gav sig også udslag i et vist overlap, idet HG og ZM lå nogenlunde på niveau med de to højest præsterende hjerneskadede (OC og GL), mens BO kun lå en smule over dette niveau. Både OC og GL havde en C -værdi (hhv. C_V og C_H), der ikke var signifikant nedsat ifølge binomialtesten¹⁸. På gruppeniveau var der dog signifikante forskelle med hensyn til både C_V og C_H (henholdsvis $p=0,03$ og $p=0,01$; enkeltsidig Mann-Whitney test)¹⁹. Som nævnt overfor var det endda sandsynligt, at model fittingen anslog flere kontrolpersoners C -værdier for lavt. Alt i alt kan det konkluderes, at C -værdierne var nedsatte i hjerneskadegruppen, omend ikke så uniformt som ved K .

I hjerneskadegruppen var der ikke noget systematisk mønster mellem C -værdierne i det kontra- og ipsilæsonale felt. GD havde i modsætning til de tre andre en højere visuel forarbejdningshastighed i sit kontralæsonale synsfelt. Ved både GD, OC og GL var sideforskellene ret små. Kun neglektpatienten (JZ) syntes at have et bemærkelsesværdigt mønster. Her var C -værdien i den venstre, kontralæsonale side kun 56% af værdien i højre side. I Duncan et al. (1999), hvor man undersøgte 9 neglektpatienter, var C -værdien i det venstre synsfelt gennemsnitligt 68% af værdien i det højre synsfelt. JZs præstation var på linje med fundene i nævnte undersøgelse: JZ havde uforholdsmæssigt nedsat C -værdi i venstre synsfelt, mens K -værdierne var mere symmetriske. Alle C - og K -værdier var dog markant nedsatte i forhold til kontrolgruppen, og JZs neglekt havde således også en betydelig bilateral komponent.

t_o -estimerne var som nævnt behæftet med betydelig usikkerhed. Et overordnet fund må dog siges at være robust: t_o -værdierne var signifikant forskellige i de to grupper ($p=0,01$; Mann-Whitney test, enkeltsidig)²⁰. Ud fra de fire patienter i forsøget tyder det altså på, at hjerneskade medfører en forhøjet tidsmæssig tærskelværdi for opfattelsen af visuelle stimuli. På grund af målingernes

¹⁷ I rådata (2880 observationer) fandtes det dog, at normalgruppens gennemsnitsscorer i venstre og højre synsfelt var henholdsvis 1,74 og 1,84. Da der er tale om flere tusinde enkelt-observationer, kan t -test uden videre anvendes på disse gennemsnit. Testen viste en signifikant sideforskel ($p=0,003$; enkeltsidig). Denne lille effekt er gået tabt i model fitting estimerne. Det kan derfor ikke afgøres, om effekten skyldes sideforskelle i K og/eller C .

¹⁸ Parametrisk test var mere konservativ: kun JZs C_V -værdi afveg signifikant: $z=1,68$, $p=0,05$.

¹⁹ t -tests bekræftede disse forskelle: $p<0,05$ i begge tilfælde.

²⁰ t -test viste forskel på $p=0,005$ niveau. Forskellen mellem grupperne ville stadig være signifikant, hvis de fire kontrolpersoner med t_o -estimer på 0 ms. fik estimer på 20 ms.

usikkerhed er det ikke muligt at karakterisere denne tendens nærmere; for eksempel kan den ikke sættes i relation til skade i bestemte anatomiske regioner.

Endelig var det interessant at se på den generelle sammenhæng mellem C og K . I det følgende rapporteres enkeltsidige Spearman korrelationer. I normalgruppen var der kun en mindre, non-signifikant korrelation mellem K_H og C_H ($r=0,49$, $p=0,16$) og endda en lille, negativ sammenhæng mellem K_V og C_V ($r=-0,20$). I patientgruppen var korrelationerne betydeligt større, men stadig non-signifikante på grund af det begrænsede antal individer. Korrelationen mellem K_V og C_V var $r=0,80$ ($p=0,1$), og mellem K_H og C_H $0,74$ ($p=0,13$)²¹. Der var altså en vis tendens til, at patienter med meget lave værdier i den ene parameter også var relativt stærkt påvirkede med hensyn til den anden parameter. Denne tendens ses også på graferne. Der var en markant opdeling i patientgruppen, hvor GD og JZ på *samtlig*e kapacitetsmål havde lavere værdier end de to øvrige (GL og OC). Den statistiske signifikans af dette fund er vanskelig at bedømme, da hver patients fire C - og K -værdier var indbyrdes afhængige. Mønsteret synes dog så bemærkelsesværdigt, at det bør overvejes nærmere. Den mulige anatomiske baggrund for dette overordnede fund i forsøget diskuteres i afsnit 8.6.

8.5 Sammenligning med traditionelle neuropsykologiske mål

Den valgte testprocedure var usædvanlig i neuropsykologisk sammenhæng, og en række traditionelle kognitive tests blev derfor inkluderet for at knytte forbindelse til den øvrige kliniske forskning. Det blev forsøgt at finde veletablerede tests, der målte analoge parametre til computertestningen. Imidlertid kunne der i de fleste tilfælde ikke findes nogen direkte pendant til TVA-målingen. For eksempel er Corsi block tapping som nævnt i kapitel 5 ikke i stand til at måle K . Testen måler dog et aspekt ved den umiddelbare hukommelse for visuelle stimuli, som måske har en vis relation til K . Tempoprøverne - trail making, digit symbol - kan siges at stå i et lignende forhold til C . De nævnte prøver måler ikke specifikt den visuelle forarbejdningshastighed (primært på grund af en betydelig motorisk komponent), men testpræstationen afhænger måske alligevel af nogle af de samme kognitive processer.

På forhånd var der ikke forventning om at finde markante sammenhænge mellem TVA-testningen og de traditionelle tests. Dels fordi testene som nævnt ikke undersøger helt de samme funktioner, men også fordi neuropsykologiske tests generelt kræver en noget større population for at

²¹ Pearson korrelationerne var henholdsvis $r=0,79$ ($p=0,11$) og $r=0,63$ ($p=0,18$).

visse statistisk signifikante resultater. For fuldstændighedens skyld blev testbatteriet dog inkluderet alligevel.

Til at sammenligne med K -estimatet blev brugt adskillige tests for umiddelbar hukommelsesspændvidde. Dette omfattede både tests af auditiv (digit span, sætnings-gengivelse) og visuel spændvidde (Corsi block tapping). Resultaterne vises i følgende skema, med et gennemsnit af K -værdierne i de to synsfelter til sammenligning:

Tabel 8.2. K og neuropsykologiske mål for hukommelsesspændvidde

Person	K	DF	DB	S	CF	CB	Person	K	DF	DB	S	CF	CB
BO	4.0	6½	5½	17½	5½	5½	JZ	1.9	5	3½	15½	2½	2½
RV	3.65	5½	4½	17½	4	6	GL	2.15	5	3½	13½	5½	3½
JG	3.3	5½	4½	17½	5½	5	OC	2.45	5	3	17	5½	5½
LS	3.4	6½	6½	22	7	5½	GD	1.65	5	3	17½	3	3½
HG	3.3	4	3	16½	6	6							
ZM	2.55	5	3½	18	4	4							

(DF: Digit span Forward, DB: Digit span Backwards, S: Sætningsgengivelse, CF: Corsi block tapping Forward, CB: Corsi block tapping Backwards).

Hvis man ser på normalgruppen, korrelerede K ikke signifikant med nogen af de øvrige tests²². Ses på data fra alle 10 forsøgspersoner, korrelerede K i følge Spearmans test signifikant ($p < 0,05$) med både Corsi backwards og begge versioner af digit span.

Sammenhængen mellem K og de øvrige tests kunne dog simpelthen skyldes, at de alle var gode til at differentiere mellem patient- og kontrolgruppen. Testene behøvede således ikke at have mere til fælles end blot at være særligt vanskelige for hjerneskadede. Denne tolkning støttes af, at der i normalgruppen ikke fandtes signifikante korrelationer mellem K og testene.

De relativt høje præstationer på digit span forward udelukkede en fejlkilde ved K -estimatene. Bogstaverne i whole report skulle rapporteres verbalt, hvilket forudsatte en verbal omkodning af synsindtrykket. Det ville være et problem, hvis den auditive spændvidde var meget lav hos en forsøgsperson. I så fald kunne det ikke afgøres, om den målte begrænsning i kapacitet havde at gøre med den auditive eller visuelle korttidshukommelse. Imidlertid kunne alle forsøgspersoner gengive

²² Ifølge Pearsons test var korrelationen mellem K og Corsi Backwards signifikant ($r=0,75$; $p=0,04$, enkeltsidig), hvilket dog ikke blev bekræftet af Spearman-testen ($r=0,52$; $p=0,14$).

fire eller flere bogstaver i digit span, hvorfor informationstabet i whole report må være sket i den visuelle indkodningsfase.

Traditionelle tempotests (WAIS Talsymbol, Trail making A og B) blev udvalgt til at matche *C*-estimerne. I lighed med tabel 8.2 vises et gennemsnit af *C*-værdien i de to synsfelter.

Tabel 8.3. *C* og neuropsykologiske mål for psyko-motorisk tempo

Person	<i>C</i> /s ⁻¹	TA/s	TB/s	TS	Person	<i>C</i> /s ⁻¹	TA/s	TB/s	TS
BO	16.8	15	66	74	JZ	9.2	158	384	15
RV	24.4	27	42	82	GL	13.0	41	88	39
JG	34.2	21	44	74	OC	14.9	42	86	22
LS	23.4	21	48	74	GD	8.7	70	160	31
HG	13.3	15	45	81					
ZM	16.0	19	63	49					

(TA: Trail making A, TB: Trail making B, TS: TalSymbol (WAIS))

Der var signifikante forskelle mellem patient- og kontrolgruppen på alle tre tests. Dette var ikke overraskende, specielt ud fra JZs ekstremt lave præstation (neglektproblematikken spillede tydeligt ind i alle tre tests). Mere interessant var eventuelle korrelationer mellem *C* og de neuropsykologiske tests. I normalgruppen var der ingen signifikante korrelationer. Blandt de 10 forsøgspersoner som helhed var der signifikant sammenhæng mellem både *C* og talsymboltesten og mellem *C* og Trail making B. Igen må der dog henvises til den effekt, der blev nævnt ovenfor: testene havde formentlig kun det tilfælles, at de var specielt vanskelige for hjerneskadede. Det synes at være en rimelig konklusion, at den betydelige motoriske komponent i tempo-testene adskilte dem fra whole report opgaven.

To af patienterne (JZ og GD) havde så lave *C*- og *K*-værdier, at det kunne give mistanke om en art lettere simultanagnosi. Humphreys & Riddochs test for simultanagnosi blev derfor givet til disse to patienter. I denne test skal sæt af en, to eller tre figurer/bogstaver benævnes. Figurerne ligger enten hver for sig eller overlappende. Uforholdsmæssigt store vanskeligheder ved benævnelse af overlappende figurer tages som udtryk for simultanagnosi. I forsøget blev kun versionen med bogstaver anvendt. Både JZ eller GD klarede prøven upåfaldende. Da begges læsefærdigheder desuden var rimelige, kan de ikke siges at have haft simultanagnosi i klinisk forstand (jvf. kapitel

6). Heller ikke præstationen på 15-objekts testen (Pillon et al., 1989) eller Street-testen tydede på egentlige simultanagnostiske problemer.

8.6 Generel diskussion af whole report resultaterne

Whole report forsøget viste overordnet en klar kapacitetsnedsættelse i hjerneskadegruppen. Især med hensyn til K , men også C (og i begge synsfelter) adskilte patienterne sig fra kontrolpersonerne. Funktionsnedsættelsen var bemærkelsesværdigt generel, således at der kun var et mindre overlap mellem præstationer af enkeltindivider fra hver gruppe. Overlappet kan endda muligvis forklares som et artefakt ved model fittingen (de kunstigt lave t_o - og C -estimer for fire af kontrolpersonerne). Da patienternes skader var lokaliseret ret forskelligt, kunne man overveje, om kapacitetsnedsættelse i VKTH samt nedsat visuel forarbejdningshastighed simpelthen er en generel, non-specifik følge af hjerneskade. Der var dog et andet fund i forsøget, der talte imod denne konklusion.

Internt i patientgruppen viste der sig et mønster, hvor OC og GL lå over GD og JZ på alle kapacitetsmål; en effekt, der samlet set var ret markant. OC og GL havde skader i frontal cortex og basal ganglierne, mens GD og JZ havde posteriore skader. Hos både JZ og GD involverede læsionerne den ene parietallap (omend GD også havde et infarkt i insula og JZs skade muligvis omfattede mere anteriore områder; se appendix A). Man kunne umiddelbart opstille den hypotese, at parietallappen er særligt kritisk for evnen til simultan perception af flere objekter, og at læsion i dette område giver uforholdsmæssigt nedsatte K - og C -værdier.

Først må man dog overveje, om der kunne være andre faktorer på spil end skadens lokalisation. GD og JZ var henholdsvis 61 og 56 år, mens OC og GL var 38 og 34 år. Inden for specialeprojektets tidsramme var det som tidligere nævnt ikke muligt at rekruttere kontrolpersoner i 50-70 års alderen. Indtil en sådan kontrolgruppe inkluderes i projektet, kan det ikke afgøres definitivt, om aldersforskellen var baggrunden for effekten. Det er tale om en væsentlig fejlkilde. Den visuelle akuitet begynder at forringes i 40erne og 50erne, omend processen først tager fart efter 60-års alderen (Lezak, 1995). På andre potentielt relevante parametre som visuel spændvidde (målt med Corsi Block Tapping) og formgenkendelse er forringelserne dog små eller ikke-eksisterende før 65-års alderen (ibid.). Aldersforskellen mellem de to grupper kan derfor muligvis forklare noget af variansen i præstationen, men næppe hele effekten. Da især sensorisk spændvidde synes relativt upåvirkelig af aldring, må ihvertfald forskellen i K -værdier forklares ved andre faktorer.

En anden mulighed var, at JZ og GD havde *større* læsioner end GL og OC, og at dette – uafhængigt af skadens lokalisation – var baggrunden for kapacitetsnedsættelsen. GDs skader syntes

mere omfattende end GLs, der kun omfattede ét fokus (se appendix A). Samlet set er fejlkilden dog vanskelig at bedømme, primært fordi JZs MR-scanning endnu ikke er tilgængelig. På grund af den traumatiske læsionstype er det også svært at bedømme omfanget af OCs læsioner. MR-scanningen viste kun ét klart fokus, mens SPECT-scanningen fra den akutte fase antydede, at der også var diffuse skader i andre dele af hjernen, især temporalt. Det skal også bemærkes, at læsionsstørrelsen hos de 9 patienter i Duncan et al. (1999) ikke var systematisk forbundet med *C*- og *K*-værdierne. Alt i alt er der tale om en betydelig, omend ikke kritisk, fejlkilde i bedømmelsen af resultaterne.

Det synes stadig at være en forsvarlig hypotese, at ihvertfald noget af forskellen mellem de to grupper, og måske især med hensyn til *K*, skal forklares ved den forskellige lokalisation af skaderne. I Duncan et al. (1999) blev energetiske/arousal-mekanismer afhængig af højre hemisfære foreslået som forklaring på neglektpatienternes bilaterale kapacitetsdeficits. JZ modtog anti-epileptisk medicin, der yderligere kan have forstærket denne effekt. Hypotesen kan imidlertid ikke forklare kapacitetsnedsættelserne hos GD, der havde skade i venstre hemisfære. I.H. Robertson & Manly (1999) fremhæver endda højre *frontallap* som særligt kritisk for det kortikale arousalniveau. På den baggrund kan man undre sig over, at GL, der var skadet i dette område og i de dele af basal ganglierne, der er direkte forbundet hermed, var blandt de to patienter med de højeste *C*- og *K*-værdier.

En anden mulighed foreslået i Duncan et al. (1999) tog udgangspunkt i det fænomen, at højre-hemisfære skadede har tendens til at fokusere på små, lokale dele af synsfeltet (Halligan & Marshall, 1994). Dette kunne forklare, hvorfor patienterne i nævnte studie ikke opfattede så mange stimuli ad gangen. Igen må det siges, at forklaringen højst kan anvendes på JZ, da GDs skade var venstresidig.

Hvis GDs og JZs kapacitetsnedsættelser skal forklares ved skadernes lokalisation, kan man i stedet pege på den ekstreme kapacitetsnedsættelse, der klinisk er observeret ved bilateral occipito-parietal skade (dorsal simultanagnosi, jvf. kapitel 6). Man kan forestille sig, at unilateral skade i dette område giver en afsvækket udgave af kapacitetsnedsættelsen. Endvidere er der et vist grundlag for mene, at skader i *venstre* occipito-parietal cortex giver den største kapacitetsnedsættelse. Warrington & Rabin (1971) pegede som nævnt i kapitel 5 på omtrentligt dette område, og selv om skadeslokaliseringen i denne undersøgelse var grov, deltog der til gengæld en meget stor gruppe patienter. GD havde med sikkerhed en skade i den venstre occipito-parietale cortex, mens det i skrivende stund er uvist i hvor grad JZs højre-hemisfære skade involverede området. Viser den planlagte MR-scanning, at dette ikke er tilfældet, skal forklaringen på JZs lave visuelle opmærksomhedskapacitet nok søges i ovennævnte neglektteorier.

Konkluderende må det dog siges, at det nærværende fund er for usikkert til andet end at vejlede kommende undersøgelser. For det første bør det fastslås, om aldersforskelle var en betydelig fejlkilde i forsøget. Dernæst bør fundet replikeres på en større patientgruppe for blandt andet at udjævne variation i læsionsstørrelse. Først da det kan siges mere bestemt, om (dele af) parietallappen er særligt kritisk for opmærksomhedsmæssig kapacitet. Da der er tale om et næsten uudforsket område, har forsøget dog haft en eksplorativ værdi på dette punkt. I forhold til Duncan et al. (1999) var det især interessant at finde en patient, hvis stærke kapacitetsnedsættelse *ikke* havde relation til visuel neglekt og skade i højre hemisfære.

Et andet af forsøgets formål var at måle eventuelle sideforskelle i K og C . I normalgruppen var de individuelle estimater for især K , men også C , næsten ens i venstre og højre side. Da stimuli blev præsenteret under én fiksering, blev kun den ene hemisfære umiddelbart påvirket. Resultaterne tydede med andre ord på, at forarbejdningen af de visuelle stimuli forløb lige effektivt i begge hemisfærer.

Whole report opgaven syntes altså neutral over for den funktionsspecialisering, der til en vis grad kendetegner højre og venstre side af cortex. Dette var overraskende, da der skulle opfattes bogstaver, og man derfor kunne forvente, at stimuli blev hurtigere forarbejdet af venstre hemisfære. Ni af de ti forsøgspersoner var højrehåndede og derfor med stor sandsynlighed normalt sprogligt lateraliserede (Bruhn, 1996). Andre undersøgelser peger på små, men sikre sideforskelle, når stimuli er så simple som bogstaver (Kimura, 1973). Ved en analyse af rådata fandtes da også en sådan minimal effekt, der var gået tabt i model fitting proceduren. Da der er tale om rådata, kunne det dog ikke afgøres, om den lille sideforskel havde mest at gøre med C eller K .

I hjerneskadegruppen var symmetrien ikke så stærk. Dette skyldtes ikke nogen systematisk effekt, men var snarere udtryk for større variation i præstationerne. Der var overraskende en lille tendens til, at K var nedsat i det ipsilæsonale felt. Effekten var dog svag og forbundet med usikkerhed på grund af de særlige problemer med JZs og til dels GDs K -estimater. Kun JZ havde en klar unilateral nedsættelse af en parameter, idet hans visuelle forarbejdningshastighed var næsten halveret i venstre side. Da dette fund var på linje med undersøgelsen af de ni neglektpatienter i Duncan et al. (1999), kunne den hypotese opstilles, at netop patienter med visuel neglekt er karakteriseret ved kontralæsonal nedsættelse af C (men ikke K). Også denne hypotese må dog verificeres på en større gruppe af patienter.

JZs ipsilæsonale C - og K -værdier var også stærkt nedsatte, og det overordnede fund i patientgruppen var kapacitetsnedsættelse i *begge* synsfelter. Der fandtes for eksempel ikke nogen

patient med en klar nedsættelse af K i ét synsfelt. Det kan naturligvis ikke udelukkes, at K kan skades enkelttidigt. Blot peger nærværende undersøgelse, sammen med Duncan et al. (1999), på en række områder i parietal- og frontallapperne samt basal ganglierne, hvor unilateral skade sandsynligvis *ikke* medfører markant nedsættelse af K i det ene synsfelt.

Den generelle præstationsnedsættelse i hjerneskadegruppen tydede på, at opmærksomheds-mæssig kapacitet er sårbar over for skade i mange dele af cortex og tillige i basal ganglierne. Der kan opstilles et hypotetisk skel mellem skader i dele af parietallappen og i de øvrige dele af cortex/basal ganglierne, hvor førstnævnte skadetype muligvis giver særligt store kapacitetsdeficits. Den fundne tendens til, at K og C nedsættes i begge synsfelter, antyder også, at det neurale grundlag for opmærksomhedsmæssig kapacitet er højt distribueret; specielt lader processerne til at være fordelt på begge hemisfærer. Dette gælder også, selv om der kun forarbejdes stimuli fra ét synsfelt. På grund af det begrænsede antal patienter skal alle resultaterne dog ses som eksplorative. Også fundet af selektiv nedsættelse af C i det kontralæsionale synsfelt ved visuel neglekt, men ikke ved andre typer hjerneskade, må betegnes som et foreløbigt resultat, der kræver replikation på en større gruppe patienter.

9. EKSPERIMENT 2: PARTIAL REPORT

9.1. Rationalet bag partial report

Som navnet antyder, skal forsøgspersonen i partial report forsøg kun gengive en begrænset del af det foreviste materiale. Mens whole report udelukkende er en prøve af delt opmærksomhed, kræver partial report således også *fokuseret opmærksomhed*. Forsøgspersonen må forsøge at filtrere irrelevant information bort, og koncentrere sig om bestemte dele af stimulusfeltet. Det kriterium, der skal styre filtreringen, angives på forhånd og kan i princippet være en hvilken som helst perceptuel eller semantisk kategori. I det nærværende forsøg anvendtes farve. I TVAs sprogbrug måtte forsøgspersonen således forsøge at tillægge den nævnte (target-) farve høj pertinens, mens den anden (distraktor-) farve skulle have lav pertinens.

Et grundlæggende formål med partial report forsøget var at måle relativ *opmærksomhedsvægtning*, dels mellem stimuli i forskellige dele af synsfeltet, dels mellem targets og distraktorer. Det var dog i tilgift nødvendigt at estimere *den sensoriske effektivitet* i de forskellige stimuluslokationer. En lav præstation et bestemt sted skyldtes ikke nødvendigvis lav opmærksomhedsvægtning, men kunne være en følge af rent sensoriske problemer. Forsøget var følgelig indrettet således, at man fik separate estimater for disse to typer parametre.

Ideelt set burde partial report forsøget (som whole report) være foretaget over hele tidsskalaen. Praktiske begrænsninger på antallet af trials gjorde dog, at kun én (individuel fastsat) eksponeringstid blev anvendt for hver forsøgsperson. Dette medførte, at kun relative præstationsmønstre, ikke absolutte præstationsværdier, kunne sammenlignes på tværs af forsøgspersoner. Kun α -værdierne kunne sammenlignes direkte, hvilket skyldtes at denne parameter var defineret som et *forhold* mellem andre af de målte parametre (se afsnit 9.4).

9.2. Testprocedure

Før hver delblok vistes enten en rød eller en grøn firkant på skærmen. Firkanten angav targetfarven for den næste delblok på 16 trials. Forsøgspersonerne blev bedt om at indprente sig farven i 5-10 sekunder, før forsøget fortsatte. Bogstaverne blev nu præsenteret i hjørnerne af et imaginært kvadrat på 5.0 grader x 5.0 grader, centreret om fikseringspunktet. Der kunne enten komme et targetbogstav, et target ledsaget af en distraktor, eller to targets. I tilfælde af to bogstaver var disse altid placeret enten ved siden af eller over/under hinanden, aldrig diagonalt modstillet. Dette gav i alt 16 trialtyper: 4 med targets alene, 4 med to targets og 8 med target og distraktor. Se figur 9.1.

Figur 9.1. De 16 trialtyper i partial report (NB: dele af illustrationen mangler!)

T	T		T	T		T		T	
	T	T			T	T	T		T
T	D	T	D	T	D				D
	D			D	T	T	D	D	T

De 16 trialtyper dækkede over 20 *konditioner*. I de fire trialtyper, hvor der forekom to targets, kunne præstationen i hvert tilfælde opløses i genkendelsesprocenten for henholdsvis det ene eller andet target. Hvis der for eksempel var to targets i nedre synsfelt, blev det gjort separat op, hvor ofte henholdsvis venstre og højre target blev genkendt. Derfor var der fem konditioner for hvert af de fire lokationer: target alene, target ledsaget af distraktor i samme eller modsatte synsfelt samt target ledsaget af target i samme eller modsatte synsfelt.

Forsøgspersonens opgave var at benævne så mange targets som muligt, og ignorere distraktorerne. Som i whole report blev fejlprocenten søgt kontrolleret ved at irettesætte forsøgspersonerne, hvis de lavede for mange fejl (over 15%) i opvarmningssessionen.

På basis af nogle indledende øvelsesblokke udvalgte en individuel eksponeringstid for hver forsøgsperson. Denne søgtes fastlagt, så genkendelsesprocenten lejrede sig omkring 70% på de trials, hvor target præsenteredes alene. Dette skete for at undgå bund- og loftseffekter i forsøget. Der skulle ofte op mod 200 øvelsestrials til for at finde den helt rigtige eksponeringstid. RV er et typisk eksempel: efter nogle blokkes tilvænning klarede hun 100% ved 40 ms, mens præstationen næsten faldt til chanceniveau ved 30 ms. Kun 3 ms. over denne eksponeringstid - ved 33 ms - fandtes imidlertid et leje på omkring 80%, der viste sig at være stabilt. Grænsen mellem lofts- og bundpræstation var således ofte hårfin blandt kontrolpersonerne, mens patienterne syntes karakteriseret af et større tidsinterval mellem t_o og det tidspunkt t_{max} , hvor genkendelsesprocenten nåede 100%. Det lykkedes dog at finde en passende eksponeringstid til alle forsøgspersoner.

Tabel 9.1. Eksponeringstider i partial report

Kontrolgruppen	Eksponeringstid/ms	Patientgruppen	Eksponeringstid/ms
BO	33	GL	60
JG	40	GD	110
ZM	44	OC	50
RV	33	JZ	120
HG	40		
LS	33		

Hver forsøgsperson skulle gennemføre 40 halvblokke á 16 trials (targetfarven skiftede mellem rød og grøn før hver halvblok). Dette giver i alt 640 trials eller 40 pr. trialtype. Enkelte patienter gennemførte dog af praktiske årsager færre trials (OC: 576 trials og GD: 480 trials, svarende til henholdsvis 36 og 30 målinger pr. trialtype).

9.3. TVA model fitting

I model fittingen af partial report resultaterne blev der set bort fra K . Der skulle højst indkodes to bogstaver ad gangen i forsøget, og det blev på forhånd antaget, at K altid ville være større end dette tal. Imidlertid viste model fittingen i whole report, at to patienter (GD og JZ) havde K -værdier på to eller derunder. Parameterestimerne for de to nævnte patienter er således behæftet med en fejlkilde, hvis betydning jeg vender tilbage til i diskussionsafsnittet.

Der var tre relevante parametre i model fittingen af partial report resultaterne. Hver af disse parametre havde en specifik værdi for hvert af de fire stimuluslokationer i forsøget. Der skulle således i alt estimeres 12 parameterværdier for hver forsøgsperson.

Den første parameter, A_i , er et *indirekte* mål for den sensoriske effektivitet i lokationen i . Den egentlige sensoriske effektivitet: $s_i = \eta_i \beta_i$ (jvf. ligning 2 i kapitel 3), kunne ikke måles direkte i forsøget. Dette kræver en nærmere forklaring. Idet K -begrænsninger som sagt negligeredes, var præstationen for et target præsenteret alene i lokationen i givet ved:

$$P_i = 1 - e^{-A_i} \quad (1)$$

hvor $A_i = s_i(t-t_o)$. Da der imidlertid kun var én eksponeringstid for hver forsøgsperson i partial report forsøget, kunne t_o ikke bestemmes²³, og A_i kunne ikke opløses i sine enkeltkomponenter, herunder s_i . A_i var dog proportional med s_i , da $(t-t_o)$ var konstant for hver forsøgsperson, og parameteren kunne følgelig tages som et indirekte udtryk for sensorisk effektivitet i lokationen. De absolutte værdier af A_i var ikke sammenlignelige på tværs af individer, da $(t-t_o)$ var forskellig fra person til person, qua individuelle eksponeringstider og t_o -værdier. *Forholdene* mellem forsøgspersonernes A -værdier i forskellige dele af synsfeltet kunne imidlertid sammenlignes direkte imellem deltagerne. Dette udnyttes i analysen af resultaterne.

De øvrige to parametre i model fittingen beskriver den relative opmærksomheds-vægtning af henholdsvis targets og distraktorer i lokationen i : $w_i(T)$ og $w_i(D)$. Præstationen for et target i lokationen i ledsaget af en distraktor i lokationen j er givet ved (jvf. ligning 1 i kapitel 3):

$$P_i = 1 - e^{-A_i w_i(T) / (w_i(T) + w_j(D))} \quad (2)$$

hvor $w_i(T)$ er opmærksomhedsvægtningen af et target i lokation i , mens $w_j(D)$ er opmærksomhedsvægtningen af en distraktor i lokation j . Præstationen for et target i lokation i ledsaget af et andet target i lokation j er tilsvarende givet ved

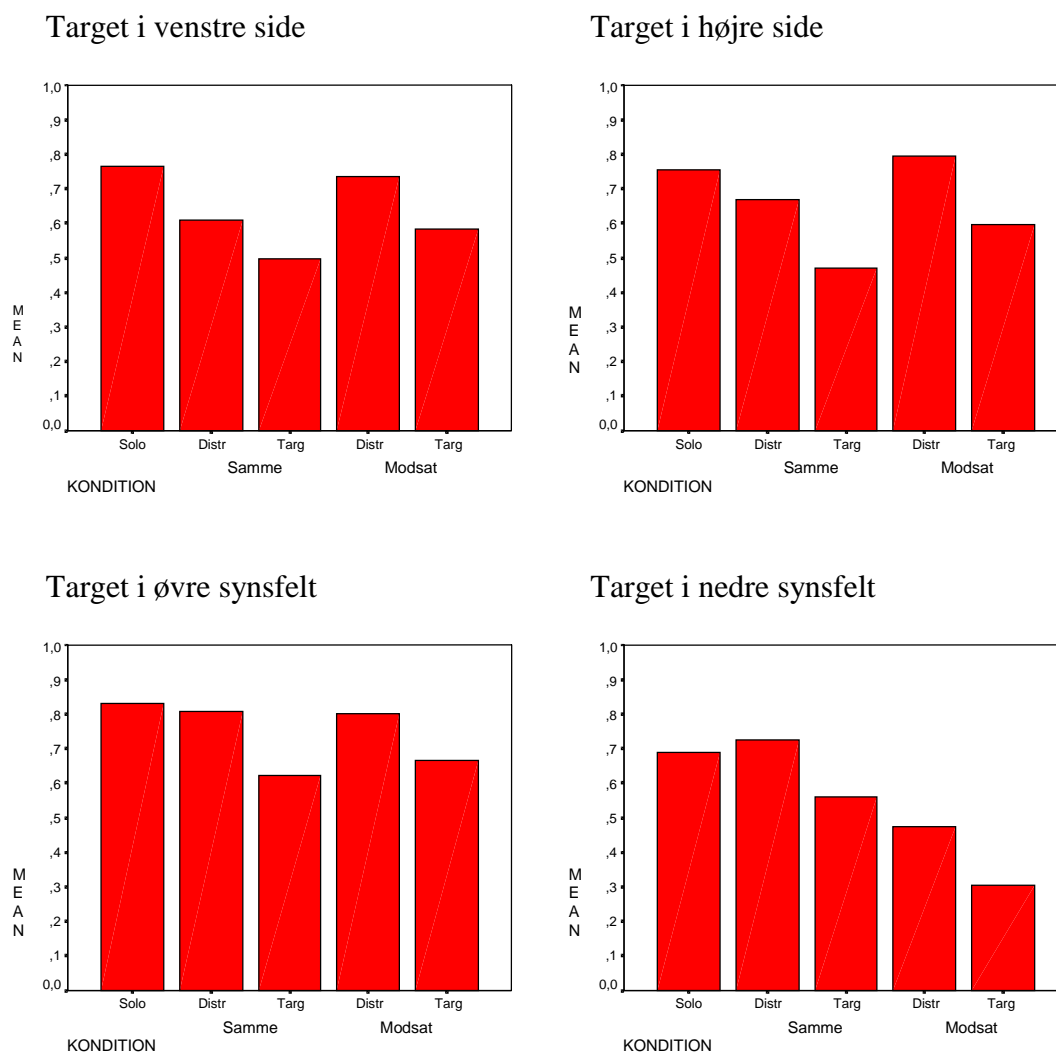
$$P_i = 1 - e^{-A_i w_i(T) / (w_i(T) + w_j(T))} \quad (3)$$

Model fittingen er simplere end ved whole report. Som observerede data bruges gennemsnittene for targetgenkendelse i hver af de tyve konditioner i forsøget. Disse gennemsnit fungerer som estimater for P -værdierne i de ovennævnte 3 ligninger. Ved at sætte ind i disse ligninger fås i alt 20 udtryk med de 12 parametre. Dette ligningssystem udgør grundlaget for den efterfølgende model fitting procedure, der forløber efter samme generelle principper som beskrevet i kapitel 8.

²³ Man kan ikke blot overføre t_o -estimatet fra whole report, da personens tærskelværdi for opfattelse af stimuli varierer med det konkrete forsøgs fysiske karakteristika.

9.4. Resultater og analyse

Som ved whole report kan det være nyttigt at starte med et grafisk overblik. Partial report dataene er dog en del mere komplicerede at afbilde end resultaterne i whole report. Jeg vil derfor som udgangspunkt blot vise normalgruppens præstationsmønstre, og først i den senere analyse præsentere hver enkelt patients mønster. De følgende søjlediagrammer er beregnet ud fra rådata, altså før model fittingen. Graferne giver et første indtryk af horisontale og vertikale forskelle i normalgruppen, samt gruppens evne til at skelne targets fra distraktorer. Hver søjle repræsenterer 480 enkeltmålinger, udregnet på tværs af de seks normalpersoner:



(Solo: target præsenteret alene, Distr: target ledsaget af distraktor, Targ: target ledsaget af target. Samme: ledsagende stimulus i samme synsfelt som target, Modsat: ledsagende stimulus i modsatte synsfelt af target).

Det ses for det første, at targets præsenteret alene generelt gav den højeste genkendelses-procent. Genkendelsesprocenten faldt en smule, når et target blev ledsaget af en distraktor, men betydeligt mere, hvis det blev ledsaget af et andet target. Med andre ord fik targets større opmærksomhedsvægtning end distraktorer, der igen fik større vægtning end tomme felter. Mønsteret var i overensstemmelse med TVA-teoriens generelle beskrivelse af delingen af opmærksomhedsressourcerne, og i øvrigt med tidligere undersøgelser (Bundesen et al., 1985).

For det andet ses det, at præstationen var næsten symmetrisk i højre og venstre side, mens der var en tydelig forskel på mønsteret i øvre og nedre synsfelt. Genkendelsesprocenten af targets i nedre synsfelt faldt kraftigt, når der optrådte stimuli i det modsatte, øvre synsfelt. Ud fra dette første blik på materialet synes der altså at være en tendens til vertikal extinction i normalgruppen. For en nærmere forståelse af dette og andre tendenser i materialet må man betragte de estimerede TVA-parametre. Model fittingens resultater er samlet i følgende to tabeller:

Tabel 9.2. Estimerede partial report parametre i normalgruppen

Person	A		w(T)		w(D)	
	Venstre	Højre	Venstre	Højre	Venstre	Højre
ZM						
Øvre	1,96	1,49	0,60	1,00	0,09	0,34
Nedre	1,08	1,82	0,09	0,47	0,00	0,00
BO						
Øvre	3,67	3,54	1,00	0,82	0,48	0,47
Nedre	2,79	1,62	0,27	0,25	0,11	0,06
HG						
Øvre	2,25	1,86	1,00	0,43	0,27	0,13
Nedre	1,04	1,14	0,11	0,11	0,00	0,02
JG						
Øvre	0,81	1,04	1,00	0,77	0,33	0,25
Nedre	0,70	0,63	0,15	0,13	0,00	0,22
LS						
Øvre	1,60	1,59	0,71	1,00	0,00	0,00
Nedre	1,40	1,78	1,00	0,72	0,00	0,00
RV						
Øvre	2,41	2,12	0,86	1,00	0,32	0,27
Nedre	1,59	2,18	0,36	0,50	0,00	0,03

Tabel 9.3. Estimerede partial report parametre i hjerneskadegruppen

Person	A		w(T)		w(D)	
	Venstre	Højre	Venstre	Højre	Venstre	Højre
GD						
Øvre	1,91	3,36	1,00	0,12	0,40	0,60
Nedre	0,52	0,79	0,05	0,05	0,02	0,07
GL						
Øvre	1,47	3,00	0,40	1,00	0,16	0,30
Nedre	0,73	3,21	0,10	0,21	0,01	0,06
JZ						
Øvre	0,71	1,80	1,00	0,61	0,13	0,31
Nedre	0,50	0,93	0,03	0,10	0,07	0,04
OC						
Øvre	1,86	1,22	1,00	0,80	0,72	0,32
Nedre	1,42	1,19	0,65	0,44	0,19	0,03

Som ved whole report forsøget svarede model fittingen godt til de observerede datapunkter. Den gennemsnitlige korrelation mellem den observerede og den forventede score var $r=0,94$ (range 0,78-0,99). De tre patienter, der viste sig at have de mest interessante præstationer i partial report forsøget, havde særligt gode fits. For GD, GL og JZ var korrelationsværdierne mellem observerede og forventede præstationer henholdsvis 0,99, 0,98 og 0,99. Sammenlignet med de øvrige deltagere havde disse personer stærkere tendens til at overse bestemte dele af synsfeltet, hvilket gjorde variationen på tværs af trials mere systematisk. Dette er baggrunden for det gode fit i disse tre tilfælde.

I den videre statistiske analyse af partial report parametrene vil jeg følge overvejelserne fra kapitel 8. Da der både er tale om få individer og usikker viden om den underliggende (normal) fordeling af parametrene, er det sikrest at benytte non-parametriske tests. Som i kapitel 8 vil resultater fra parametriske tests dog vedlægges til sammenligning.

I modsætning til ved whole report er det vanskeligt umiddelbart at overskue betydningen af de estimerede parameterværdier. Værdierne er som nævnt ikke umiddelbart sammenlignelige på tværs af individer, og en række *index* må beregnes, før resultaterne bliver tydelige. De første to af disse *index* beskriver forskelle i sensorisk effektivitet mellem forskellige dele af synsfeltet. Den *horisontale* forskel i sensorisk effektivitet er givet ved udtrykket $A_H = A_L / (A_L + A_R)$, hvor A_L og A_R er gennemsnittet af de to A-værdier i henholdsvis venstre og højre side. En værdi nær 0 indikerer en relativt svag sensorisk forarbejdning i venstre side, mens en værdi nær 1 er udtryk for, at højre side

er dårligere. En værdi nær 0,5 angiver, at der ikke er nogen sideforskelle. Den *vertikale* forskel er tilsvarende givet ved $A_V = A_N / (A_N + A_\emptyset)$, hvor A_N og A_\emptyset betegner A -værdiernes gennemsnit i henholdsvis det nedre og det øvre synsfelt. De to index blev udregnet for hver forsøgsperson og er samlet i følgende tabel:

Tabel 9.4. Horisontale og vertikale forskelle i sensorisk effektivitet

Kontrol	A_H	A_V	Patient	A_H	A_V
ZM	0,48	0,46	GD	0,37	0,20
BO	0,56	0,38	GL	0,26	0,47
HG	0,52	0,35	JZ	0,31	0,36
JG	0,48	0,42	OC	0,58	0,46
LS	0,47	0,50			
RV	0,48	0,45			

Med en gennemsnitlig A_H -værdi på 0,50 og en minimal variation ($SD=0,034$) havde individerne i normalgruppen et særdeles balanceret forhold mellem sensorisk effektivitet i de to sider af synsfeltet. Taget enkeltvis afveg alle fire patienter signifikant fra dette mønster (i hvert tilfælde var $p=0,032$; dobbeltsidig binomialtest). Det ses dog, at afvigelsen var særligt markant for de tre patienter med vaskulær patologi, hvis skade i forhold til OCs traumatiske kunne formodes at være begrænset mere entydigt til den ene hemisfære²⁴. Alle patienter havde dårligere sensorisk effektivitet i samme side som deres laveste C -værdi i whole report forsøget. Det skal igen bemærkes, at GD havde sin skade i venstre hemisfære, og således overraskende klarede sig bedst i sit kontralæsionale felt.

Med hensyn til den vertikale dimension havde normalpersonerne generelt en bedre sensorisk forarbejdning i det øvre synsfelt (gennemsnitlig A_V -værdi: 0,43; $SD=0,056$). Da LS ikke havde dette mønster, nåede afvigelsen dog ikke signifikans ($p=0,11$; enkeltsidig binomialtest. Tendensens retning kunne forventes, se afsnit 9.6). GD afveg som den eneste patient fra normalgruppens gennemsnit ($p=0,016$; enkeltsidig binomialtest)²⁵ med en markant dårligere sensorisk effektivitet i

²⁴ Alle fire patienters z -værdier afveg signifikant fra normalgruppen ($p<0,05$). OCs værdi afveg dog kun med 2,3 SD, mens GD, JZ og GL afveg med henholdsvis 3,8, 5,6 og 6,9 SD.

²⁵ GDs z -værdi afveg højsignifikant ($p<0,001$); 4,1 SD fra normen.

det nedre synsfelt. Testen var enkeltstående, da det på basis af tidligere forskning kunne forventes, at GDs skade ville medføre ubalance i denne retning (se afsnit 9.6).

Med hensyn til spatiale forskelle i opmærksomhedsvægtning blev to tilsvarende index udregnet. Den horisontale forskel i opmærksomhedsvægtning er givet ved $w_H = w_L/(w_L + w_R)$, mens den vertikale forskel er givet ved $w_V = w_N/(w_N + w_\emptyset)$. Se nedenstående tabel:

Tabel 9.5. Horisontale og vertikale forskelle i opmærksomhedsvægtning

Kontrol	w_H	w_V	Patient	w_H	w_V
ZM	0,30	0,22	GD	0,64	0,08
BO	0,54	0,20	GL	0,30	0,17
HG	0,67	0,12	JZ	0,54	0,10
JG	0,52	0,18	OC	0,62	0,32
LS	0,50	0,50			
RV	0,46	0,27			

Gennemsnittet for w_H var i normalgruppen var 0,50, hvilket igen indikerede et balanceret forhold mellem højre og venstre side af synsfeltet. Den individuelle variation var dog betydeligt større end ved målingen af den sensoriske effektivitet ($SD=0,12$), og det bemærkes for eksempel, at ZMs horisontale opmærksomhedsvægtning var lige så ubalanceret som GLs. Ved binomialtest skilte ingen patienter sig signifikant ud fra normalgruppen²⁶, hvilket især var overraskende i JZs tilfælde. Man kunne forvente, at denne patients neglekt ville have medført lavere opmærksomhedsvægtning af venstresidige stimuli. Imidlertid tydede flere ting på, at JZs neglekt begrænsede sig til den nedre venstre kvadrant, hvilket diskuteres senere.

Med hensyn til vertikale forskelle i opmærksomhedsvægtning w_V var der i normalgruppen en klar tendens til, at stimuli i det øvre synsfelt blev vægtet tungere (gennemsnit: 0,25; $SD=0,13$). Kun LS skilte sig ud fra dette mønster, idet hendes opmærksomhedsvægtning mellem øvre og nedre synsfelt var næsten perfekt balanceret.

²⁶ GLs z -værdi ($z=1,67$) adskilte sig dog med marginal signifikans fra normen ($p=0,05$).

Denne undtagelse gjorde igen, at mønsteret ikke nåede signifikansniveau i normalgruppen. Ikke uventet havde GD den mest ekstreme vertikale opmærksomhedsvægtning, og ifølge binomialtesten afveg både han og JZ signifikant fra normalgruppens værdier²⁷.

Effekten af hjerneskade var altså mest utvetydig med hensyn til sensorisk effektivitet. Alle patienter havde signifikante forskelle i sensorisk effektivitet mellem forskellige dele af synsfeltet. Det bemærkedes dog, at OCs afvigelse fra normalgruppen var mindre markant. De sensorisk svage dele af synsfeltet hos patienterne fik typisk en lav opmærksomhedsvægtning, men denne effekt var mindre synlig på grund af den betydelige variation i normalgruppen.

Efter traditionel definition har extinctionfænomenet udelukkende at gøre med opmærksomhedsvægtning: den stimulus, der overses ved simultan stimulation, skal i princippet være ligestillet med hensyn til sensorisk effektivitet – altså præcis lige så let at opfatte som den ”stærke” stimulus, når de to optræder hver for sig. Det nærværende forsøg, sammen med extinctionlitteraturen i øvrigt (f.eks. Bisiach, 1991; Vallar et al., 1994) antyder imidlertid, at den kliniske virkelighed ikke er så enkel. Det fænomen, at nogle patienter har en tendens til at overse den ene stimulus ved simultan stimulation, skyldes formentlig også, at den ”svage” stimulus rent sensorisk bliver forarbejdet dårligere (uden at der er tale om et egentligt synsudfald, se kapitel 10). Den mere specifikke analyse af fænomenet, som nærværende metode muliggør, kalder på en modifikation af extinctiondefinitionen.

I projektet har jeg derfor valgt at definere extinctiontendenser ud fra en *samlet* vurdering af sensorisk effektivitet og opmærksomhedsvægtning. I stedet for ”klassisk” extinction som ovenfor defineret kan man i dette tilfælde tale om extinction som et ubalanceret *styrkeforhold* mellem spatiale lokationer ved dobbeltsidig stimulation. Dette styrkeforhold kan defineres som *sandsynligheden for at opfatte objekter i én lokation i forhold til at opfatte objekter i en anden, når objekterne præsenteres samtidigt*. Styrkeforholdet indebærer i modsætning til den traditionelle extinctiondefinition ingen antagelse om, at de to stimuli perciperes lige godt hver for sig.

Sandsynligheden for et objekts indkodning afhænger ifølge TVA af objektets opmærksomhedsvægtning gange den sensoriske effektivitet, hvormed det forarbejdes. Det *horisontale styrkeforhold* mellem to visuelle stimuli kan følgelig defineres ved ligningen $S_H = A_V W_V$

²⁷ På grund af den store spredning i normalgruppen afveg JZs og GDs *z*-værdier ikke signifikant. Da normalperson HG endvidere havde næsten samme værdi som de to, kan man stille spørgsmålstegn ved fundet.

$/(A_V w_V + A_H w_H)$. A_V betegner gennemsnittet af personens A -værdier i venstre side, mens w_V er gennemsnittet af $w(T)$ og $w(D)$ -værdierne i venstre side. A_H og w_H defineres tilsvarende. En S_H -værdi nær 0 er udtryk for, at venstresidige stimuli typisk overses ved bilateral stimulation, mens en værdi nær 1 indikerer højresidige problemer. Det horisontale styrkeforhold for hver forsøgsperson er præsenteret i følgende tabel:

Tabel 9.6. Det horisontale styrkeforhold mellem visuelle stimuli

Kontrol	S_H	Patient	S_H
ZM	0,28	GD	0,51
BO	0,59	GL	0,13
HG	0,69	JZ	0,34
JG	0,49	OC	0,69
LS	0,47		
RV	0,44		

I normalgruppen var det gennemsnitlige horisontale styrkeforhold 0,49 (SD=0,14), og der var således på det overordnede plan et balanceret forhold mellem venstre- og højresidige stimuli i gruppen. Den høje standardafvigelse afslører dog en betydelig variation blandt kontrolpersonerne. Det bemærkes, at en af kontrolpersonerne (ZM) overraskende havde et stærkere højresidigt bias end neglektpatienten (JZ), og at HGs tendens til venstresidigt bias var på størrelse med OCs. Kun GLs S_H -værdi afveg signifikant fra normalgruppen ($p=0,016$; enkeltsidig binomialtest)²⁸. GL havde et markant tendens til at overse venstresidige stimuli. Effekten skyldtes lige dele lav opmærksomhedsvægtning ($w_H=0,30$) og sensorisk (in-) effektivitet ($A_H=0,26$).

Særligt i relation til GDs lave A - og w -værdier i det nedre synsfelt var det interessant at se på det *vertikale styrkeforhold*. Dette er givet ved $S_V = A_N w_N / (A_N w_N + A_\emptyset w_\emptyset)$, analogt til det horisontale styrkeforhold. Det vertikale styrkeforhold blev beregnet for hver forsøgsperson, og præsenteres i følgende tabel:

²⁸ Dette bekræftedes af z -test: $p < 0,01$ (2,6 SD fra normen). Testen var enkeltsidig, da der også i GLs tilfælde var en hypotese om en eventuel ubalances retning (se afsnit 9.6).

Tabel 9.7. Det vertikale styrkeforhold mellem visuelle stimuli

Kontrol	S_V	Patient	S_V
ZM	0,19	GD	0,02
BO	0,13	GL	0,15
HG	0,07	JZ	0,06
JG	0,13	OC	0,28
LS	0,50		
RV	0,23		

Det ses for det første, at der var en markant tendens til vertikal ubalance i normalgruppen (gennemsnitlig S_V -værdi: 0,21; $SD=0,15$). Dette bekræfter indtrykket fra den grafiske analyse. Kun LS havde et balanceret styrkeforhold mellem øvre og nedre stimuli. Det forhold, at 5 af de 6 normalpersoner havde en vertikal ubalance, var endnu engang ikke signifikant ($p=0,11$; enkeltsidig binomialtest).

Bemærkelsesværdigt var det dog, at alle patienter var karakteriseret af samme ubalance, som ydermere syntes særlig stærk hos GD og JZ, de to patienter med posteriore skader. Taget hver for sig afveg begge patienter signifikant fra normalgruppens værdier ($p=0,016$; enkeltsidig binomialtest)²⁹. Ved begge patienter skyldtes dette i højere grad lav opmærksomhedsvægtning end svag sensorisk forarbejdning af stimuli i det nedre synsfelt: GDs A_V - og w_V -værdier var henholdsvis 0,20 og 0,08, mens værdierne for JZ var henholdsvis 0,36 og 0,11.

I andre opgaver i projektet (perimetri og neuropsykologisk testning) udviste JZ neglekt, der næsten helt begrænsede sig til stimuli i den nedre venstre kvadrant. Det var derfor interessant at undersøge, om dette ville manifestere sig i partial report forsøget. Partial report forsøget undersøgte imidlertid ikke neglekt, men extinctiontendenser og perceptuelle styrkeforhold mellem lokationer. Extinction af en synskvadrant er ikke tidligere beskrevet, og det er uklart, hvilke lokationer der skal sammenlignes med. For at få et overblik blev produktet af opmærksomhedsvægtning og sensorisk effektivitet (perceptuel styrkefaktor) beregnet for hver af JZs synskvadranter. Den højeste værdi blev sat til 1, og de øvrige værdier beregnet i forhold til dette:

²⁹ På grund af LSs "unormalt" balancerede tendens var der meget stor variation i normalgruppens værdier. På denne baggrund skilte hverken JZs eller GDs S_V -værdier sig signifikant ud ved z -test.

Figur 9.2. JZs fire synskvadranter

Perceptuel styrkefaktor:

0,48	1
+	
0,030	0,078

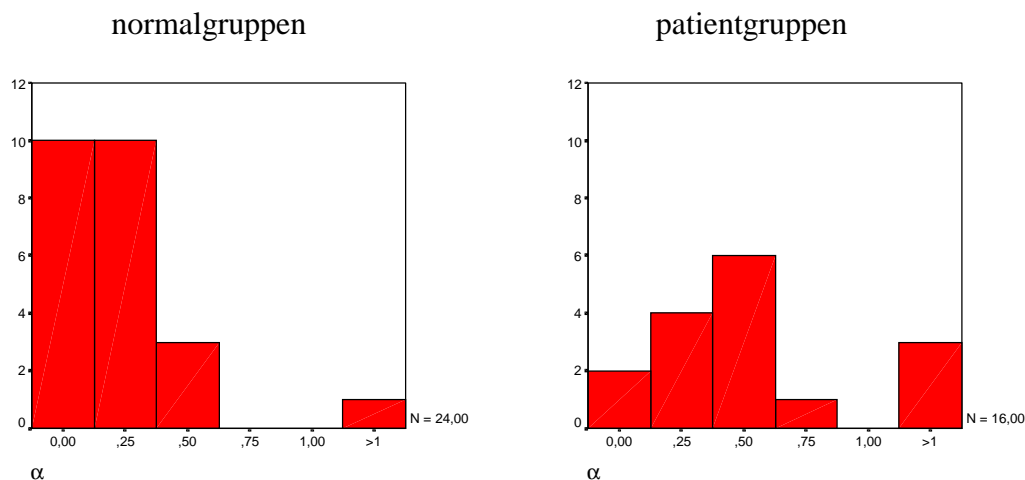
JZs nedre venstre kvadrant var klart den svageste af de fire. Både horisontalt og vertikalt modstillede kvadranter var stærkere, antydende en todimensionel ubalance. Den vertikale dimension var dog klart den vigtigste i JZs spatiale ubalance. JZ lå under alle seks kontrolpersoners værdier i den nedre venstre kvadrant³⁰. ZM havde dog en relativ perceptuel styrke af nedre venstre kvadrant på 0,049, hvilket ikke var meget højere end JZs værdi på 0,030. Det kan konkluderes, at JZs tendens til at overse stimuli i nedre venstre synsfelt var tydelig, men nok ikke så afvigende fra normalgruppen, som man kunne forvente. Baggrunden for fundet diskuteres i kapitlets afsluttende afsnit.

Den sidste parameter i partial report forsøget var α . α beskriver evnen til at skelne mellem targets og distraktorer (top-down selektivitet) og er givet ved $\alpha = w(D) / w(T)$. α blev altså ikke estimeret separat, men afledt af to af de parametre, der blev bestemt i model fittingen. En α -værdi nær 0 indikerede en god evne til at skelne mellem targets og distraktorer, mens en værdi nær 1 pegede på, at selektiviteten er lav. Paradoksale effekter, hvor distraktorer blev tillagt højere opmærksomhedsvægtning end targets, var også mulige: $\alpha > 1$.

På forhånd var der en vis forventning om, at de to patienter med skader i frontallapperne og basal ganglierne (OC og GL) ville have vanskeligt ved voluntær styring af opmærksomheden. Hypotesen havde baggrund i Posner & Petersens teori om et anteriort opmærksomhedssystem og i Husains (1997) teori om distraktorafhængig frontal neglekt. Det er dog ikke klart, hvilke strukturer, der er kritiske for top-down styring af opmærksomheden, og det drejer sig formentlig kun om en mindre del af frontal cortex (Foster, Eskes og Stuss, 1994). Det var derfor tænkeligt, at de relevante strukturer slet ikke var læderede hos OC og GL, og at deres α -værdier ville være upåfaldende. Den

Da JZs S_V -værdi var næsten lig normalperson HGs, kan kun GDs afvigelse regnes for et sikkert fund.

samlede fordeling af α -værdier i alle fire kvadranter ses her opgjort for normal- og patientgruppen (værdier over 1 er samlet i én blok).



I normalgruppen var den gennemsnitlige værdi på tværs af alle fire kvadranter $\alpha=0,25$ ($SD=0,35$), mens den i hjerneskadegruppen var $\alpha=0,82$. Hvis materialet renses for outliers ($\alpha>1$) var gennemsnittene henholdsvis 0,19 ($SD=0,18$) og 0,33. Der var signifikant forskel mellem α -værdierne i de to grupper ($p=0,004$; Mann-Whitney, enkeltsidig)³¹. Dette var bemærkelsesværdigt i forhold til Duncan et al. (1999), hvor man ikke fandt forskelle i patient- og normalgruppens α -værdier. Bortset fra BO havde alle kontrolpersoner én eller flere kvadranter, hvor selektiviteten var meget høj: $\alpha<0,01$. Særligt distraktorer i nedre venstre kvadrant forstyrrede indkodningsprocessen minimalt. LS havde en særdeles stærk selektivitet med α -værdier så lave, at de ikke kunne måles i nogen af de fire kvadranter. Ingen af de fire patienter havde derimod kvadranter, hvor α -værdierne blev estimeret til 0 (OC kom nærmest med $\alpha=0,06$ i nedre højre kvadrant). En af kontrolpersonerne (JG) havde en paradoks effekt i nedre højre kvadrant, hvor distraktorer blev vægtet tungere end targets: $\alpha=1,68$. Dette gjaldt også JZ ($\alpha=2,31$ i nedre venstre kvadrant) og GD ($\alpha=1,40$ i nedre højre kvadrant, $\alpha=5,01$ i øvre højre kvadrant).

Hverken OCs eller GLs gennemsnitlige α -værdier (hhv. 0,44 og 0,31³²) afveg signifikant fra kontrolpersonernes seks gennemsnit. OCs lettere forhøjede værdi kan endda muligvis forklares med lav farveakuitet i den venstre side, hvor hans α -værdier var højest (se color report forsøget i kapitel

³⁰ En normalperson (ZM) havde dog lavere opmærksomhedsvægtning af kvadranten.

³¹ Resultatet holdt stadigvæk, selv om outliers (α -værdier over 1) blev ekskluderet: $p=0,013$. Også t -test viste signifikant forskel mellem grupperne: $p<0,05$, både med og uden outliers.

³² Udregnet efter formlen $\alpha = (\sum w_i(D)) / (\sum w_i(T))$.

10). GL havde dog også lav farveakuitet i den ene side, uden at dette forringede α -værdierne i disse lokationer.

GDs gennemsnit ($\alpha=0,89$) afveg signifikant fra normalgruppen. Dette skyldtes ikke så meget en generelt lav selektivitet som de nævnte paradoksale effekter i to af kvadranterne. Den ene optrådte i nedre højre kvadrant, hvor w -værdierne var henholdsvis $w(T)=0,05$ og $w(D)=0,07$. Ved så lave w -værdier bliver α -estimatet behæftet med stor usikkerhed, og fundet kan tilskrives tilfældigheder. Dette kan dog ikke forklare den α -værdi på 5,01, der optrådte i øvre højre kvadrant, hvor GD havde maksimal sensorisk effektivitet og temmeligt høje w -værdier: $w(T)=0,12$ og $w(D)=0,60$. Den mest plausible forklaring er et artefakt ved model fittingen. En grafisk analyse af rådata viste, at GD havde en extinctiontendens for højresidige stimuli i øverste synsfelt, mens tendensen var omvendt i det nederste synsfelt. Dette usystematiske mønster kan have ledt model fittingen til at forsøge en ”kunstig” beskrivelse af GDs opmærksomhedsvægtning.

Det var således kun på gruppeniveau, der var robuste forskelle mellem patienternes og normalpersonernes. Bemærkelsesværdigt var det dog, at ingen af patienterne opnåede en rigtigt god target-distraktor diskrimination (defineret som en α -værdi under 0,01) i nogen kvadrant. Derimod havde fem af de seks kontrolpersoner et sådant mønster. Mens α -værdierne således generelt var præget af betydelig variation mellem individer i hver gruppe (på linje med tidligere undersøgelser: Shibuya, 1993), og især mellem de enkelte kvadranter, havde kun normalpersoner evne til virkelig stærk top-down selektivitet.

9.5. Sammenligning med traditionelle neuropsykologiske mål

Som ved whole report blev partial report testningen suppleret med traditionelle neuropsykologiske tests. Den første af disse var Stroop testen. Stroop er en klassisk test af distraherbarhed (Lezak, 1995). Den blev udvalgt til at matche TVA-parameteren α . Testen blev givet i en version med tidstagning, der er mere sensitiv end den sædvanlige, hvor kun antallet af fejl registreres (ibid.). I den anvendte version af Strooptesten skulle både farverne på en kongruent³³ og en ikke-kongruent serie af farveord benævnes. Det ekstra tidsforbrug t_{stroop} på den ikke-kongruente serie blev taget som udtryk for evnen til fokusering af opmærksomheden og responsinhibition. Antallet af fejl blev også registreret: i normalgruppen havde ZM, LS og HG 1-3 fejl, mens JZ lavede 6 fejl, der dog hovedsageligt skyldtes neglektrelaterede overseelser af ordene til venstre på siden.

Der viste sig ingen signifikante korrelationer mellem individernes α -værdier og t_{stroop} , hverken i normalgruppen eller i hele gruppen af forsøgspersoner. Dette gjaldt både parametriske og non-parametriske korrelationstest. Stroop-testens stærke element af responsinhibition synes at have adskilt den fra partial report forsøget, der var rent perceptuelt.

Mesulams afkrydsningstest (Mesulam, 1985) regnes blandt de mest sensitive neglektprøver (Lezak, 1995). Testen blev inkluderet i undersøgelsesprogrammet for at sammenligne med eventuelle extinctiontendenser i partial report. Både en verbal og en non-verbal version blev givet, begge med tidstagning. Begge opgaver findes i en struktureret og en ustruktureret udgave, men kun den sidstnævnte (vanskeligste) udgave blev anvendt.

Hos de fleste forsøgspersoner var præstationen upåfaldende. OC klarede dog opgaverne meget langsomt (268 s. og 214 s. for henholdsvis den verbale og non-verbale version, hvilket skal ses i forhold til normalgruppens gennemsnit på 120 s. og 68 s.). Imidlertid lavede han sammenlagt kun en fejl. Præstationen indikerede snarere et indsnævret søgningsfokus end en egentlig neglektendens. Også GL og ZM havde en enkelt fejl, hvilket heller ikke kan tages som udtryk for neglekt. JZ havde derimod et typisk neglektmønster. På begge opgaver blev 9 elementer overset, næsten alle i nedre venstre kvadrant. Dette skete, selv om JZ brugte ekstremt lang tid på opgaverne (henholdsvis 308 og 351 s.). Selv om både JZ og normalperson ZM havde en sammenligneligt ”svag” nedre venstre kvadrant i partial report opgaven (jvf. afsnit 9.4), var dette altså kun forbundet med egentlig neglekt hos JZ.

³³ Kongruent ord: farven på bogstaverne svarer til ordets mening.

9.6. Generel diskussion af partial report resultaterne

Tolkningen af partial report forsøget kompliceres af den samtidige måling af adskillige komponenter i opmærksomhedsprocessen. Dette drejede sig for det første om target-distraktor distinktionen, der testede det voluntære aspekt af opmærksomhedsvægtningen. For det andet blev der samtidig testet for spatiale ubalancer i både den horisontale og vertikale dimension, der igen kunne afhænge af både opmærksomhedsvægtning og sensoriske faktorer. På trods af denne komplicerede måling fremstod der alligevel en række klare resultater. Specielt vil jeg i dette afsnit argumentere for, at alle fire patienter havde præstationsmønstre, der var teoretisk meningsfulde i forhold til lokaliseringen af deres skade.

Patienternes præstation skal ses på baggrund af mønsteret i normalgruppen, som jeg vil lægge ud med at kommentere. På baggrund af konklusionerne i Duncan et al. (1999) og af opmærksomhedslitteraturen i øvrigt kunne man forvente, at normalpersonernes præstation ville være højt symmetrisk. Mens dette var tilfældet for den horisontale dimension, viste fem af de seks normalpersoner sig at have tendens til at overse stimuli i det nedre synsfelt, når der samtidigt optrådte stimuli ovenfor. Dette skyldtes primært en lav opmærksomhedsvægtning af dette synsfelt, mens den sensoriske effektivitet var mindre påvirket.

På grund af det lave antal individer nåede effekten ikke signifikans, men kan i stedet siges at være et interessant eksplorativt fund. Selvom fundet på sin vis var uventet, er det ikke det første af sin art. Drain & Reuter-Lorenz (1996) fandt i en række forsøg, at normalpersoner havde tendens til at tvedele linjer over midtpunktet, og således til en vis grad negligere linjens nedre halvdel. Dette replikerede et tidligere fund i Shelton et al. (1990), men med den forskel, at Drain & Reuter-Lorenz' linjedelingsopgave ikke var "forurennet" af en motorisk komponent. Drain & Reuter-Lorenz fandt endvidere, at bias mod det øvre synsfelt var særligt udtalt i varianter af opgaven, der specifikt aktiverede den ventrale bane i synssystemet. Resultaterne blev tolket i lyset af Previc' teori om det øvre og nedre synsfelts afhængighed af henholdsvis den ventrale og den dorsale bane (se kapitel 6). Drain & Reuter-Lorenz opstillede den hypotese, at der i den normale hjerne er en tendens til, at den ventrale banes opadrettede opmærksomhed er en smule stærkere end den dorsale banes nedadrettede; en tendens, der forstærkes af visse opgavetyper. Hvis fundet i nærværende forsøg er udtryk for noget reelt, skal det formentlig forklares inden for denne teoriramme.

Det faktum, at Duncan et al. (1999) ikke rapporterede om vertikale forskelle, selv om forsøgsopstillingen var den samme som i nærværende forsøg, maner til en vis besindighed. Ved en nærmere gennemgang af datamaterialet i Duncan et al. (1999) kan man dog ane samme tendens,

omend non-signifikant: w_V -værdierne var gennemsnitligt 0,41; fire af de syv kontrolpersoner havde værdier omkring 0,50 (0,45-0,57), mens de sidste tre havde værdier omkring 0,30 (0,24-0,33). Som i nærværende forsøg var der altså både personer med central og opadrettet opmærksomhed, men ingen med en klart nedadrettet opmærksomhed. Dette kunne antyde, at det vertikale bias ikke er generelt, men måske kun findes hos en (stor) del af normalbefolkningen.

I stedet for en neurologisk teori om styrkeforhold mellem hjernesystemer kunne man overveje en mere trivial forklaring. Tendensen til en vertikal ubalance kunne simpelthen skyldes læsevaner: at vi i vores kultur læser bogstaver oppefra og ned. I så fald burde tendensen til at læse fra venstre mod højre dog være mindst lige så betydningsfuld, men der var som nævnt ingen systematiske horisontale forskelle i normalgruppen. Der kunne også være tale om etablering af en vilkårlig vane hos de fem nævnte kontrolpersoner (til forskel fra en "hard-wired" neurologisk mekanisme). Udviklingen af en sådan vane i løbet af testningen kan forklare visse af kontrolpersonernes forkærlighed for stimuli i enten venstre eller højre synsfelt. Forklaringen er imidlertid ikke overbevisende i relation til det vertikale bias, hvor næsten alle "vaner" udviklede sig i samme retning.

En anden mulig forklaring er stimulus placering i forhold til forsøgspersonernes kropslige referenceramme. Selv om forsøgspersonerne fikserede blikket centralt på skærmen, var hele visningen placeret under øjen- og hovedhøjde. Det var kun i den retinotopiske referenceramme, at stimuli var enten over eller under den horisontale meridian; i den hovedcentrerede referenceramme var alle stimuli "forneden". De nederste stimuli var i dette koordinatsystem mere distale, hvilket kan have givet en lavere opmærksomhedsvægtning. Til dette kan siges, at den retinotopiske referenceramme formentlig er den vigtigste i vertikal neglekt (Adair et al., 1995). Der er dog behov for uddybende undersøgelser af effekterne.

I modsætning til normalgruppens mønster var GDs stærke vertikale bias derimod signifikant, og kan umiddelbart tolkes indenfor ovennævnte teoriramme. Vertikal extinction er som nævnt i kapitel 5 rapporteret enkelte gange i forbindelse med omfattende, bilaterale skader. Derimod synes der ikke at foreligge undersøgelser, der har påvist mekanismen ved unilateral skade. Dette blev bekræftet ved søgning på Medline, PsychLit og Brain50-databasen. GD havde en læsion i det occipito-parietale område, hvilket giver glimrende neurologisk mening ud fra Previc' og Drain & Reuter-Lorenz' teorier. Lokalisationen var endvidere i overensstemmelse med tidligere rapporter om vertikal neglekt (Butter et al., 1989; Rapczak et al., 1989). GD havde tillige en læsion i insula, men det er vanskeligt at tro, at denne var relevant for effekten. Insula forbindes almindeligvis med sprog- og

hukommelsesfunktion (Kolb & Whishaw, 1996) og ligger langt fra de områder, der anses for involverede i visuel kognition. Der var imidlertid en anden fejlkilde ved GDs præstation, der bør overvejes.

GDs *K*-værdier var i whole report opgaven målt til 1,5 og 1,8. I modsætning til normalpersonerne opfattede han aldrig to stimuli samtidigt i partial report. Man kan derfor forestille sig, at GDs vertikale bias i sig selv ikke var stærkere end normalgruppens, men at han i højere grad end disse var sat i en enten-eller position: der var aldrig tale om at opfatte begge stimuli, og præstationen i øvre og nedre synsfelt blev derfor kunstigt polariseret. Ser man på den normalperson, der havde den stærkeste vertikale ubalance (HG), opfattede denne dog kun targets i både øvre og nedre synsfelt i 3 af 80 tilfælde. GDs manglende evne til at opfatte mere end én stimulus har altså kun gjort en forskel i ganske få trials. Hvis HGs score i nedre synsfelt fratrækkes pointene opnået i de nævnte tre trials, var den stadig cirka dobbelt så høj som GDs score i synsfeltet. GDs *K*-begrænsning kan heller ikke forklare præstations-mønsteret på trials med *enkeltstimulation*. GD udviste her en signifikant større forskel i sensorisk effektivitet mellem øvre og nedre synsfelt end normalpersonerne. Det synes rimeligt at konkludere, at GDs skade i venstre hemisfæres dorsale synsbane forårsagede markante problemer med stimuli i nedre synsfelt. Den dårlige score i dette synsfelt skyldtes især lav opmærksomhedsvægtning, men ringere sensorisk effektivitet var også en faktor.

GL havde en klar tendens til at overse venstresidige stimuli; en effekt, der både var tydelig ved enkeltstimulation (sensorisk ineffektivitet), men blev forstærket ved dobbeltstimulation (ubalanceret opmærksomhedsvægtning). Resultatet var ikke uventet i forhold til lokaliseringen af skaden. Det er før vist, at højresidige skader i basal ganglierne kan give anledning til visuel neglekt og extinction (Mesulam, 1990; Vallar et al., 1994).

Resultatet var imidlertid overraskende i forhold til GLs tidligere neuropsykologiske undersøgelser, hvor der ikke var påvist noget bias i opmærksomheden, specielt ikke visuel neglekt. Subjektivt havde GL dog klaget over, at hændelser ”til venstre” havde vanskeligt ved at påkalde sig opmærksomheden. Den fundne effekt kan tages som udtryk for, at undersøgelsesmetoden var sensitiv over for fænomener, som almindelige kliniske tests ikke registrerer. GLs præstation på Mesulams afkrydsningsprøve, der ellers regnes for særligt sensitiv, var således stadig inden for normalområdet, og hun kunne hverken siges at have visuel neglekt eller extinction i klinisk forstand.

Der var altså tale om påvisning af en subtil, men pålidelig effekt. En afsøgning af den neuropsykologiske litteratur pegede kun på ét lignende fund. Sakashita (1991) påviste sub-klinisk extinction ved unilateral basal ganglie skade med en computertestning, der mindede om den nærværende. GLs præstationsmønster kan tages til støtte for Duncans hypotese om kontralæsional extinction som en hyppig følge af unilateral hjerneskade (jvf. afsnit 6.3). Her var en patient uden skade i parietallappen, og uden klinisk neglekt i øvrigt, der stadig udviste en sikker (sub-klinisk) extinctiontendens.

GL havde på trods af sin anteriore skade ikke problemer med top-down styring af opmærksomheden (α), udover den manglende evne til virkelig høj top-down selektivitet, der karakteriserede alle patienter. Resultatet antyder, at basal ganglierne (og muligvis den inferiore del af frontal cortex, der også var berørt) ikke er kritiske for voluntær fokusering af opmærksomheden, ihvertfald i relation til farvekategorier. GLs præstationsmønster giver ikke støtte til Husains (1997) teori om distraktor-afhængig frontal neglekt, selvom hendes skade inkluderede de områder, som Husain & Kennard (1996) har udpeget som typiske for frontal neglekt. Det kan på den anden side indvendes, at GL ikke havde neglekt i klinisk forstand.

Ud fra en traditionel opfattelse af neglektsyndromet var det overraskende, at JZ ikke udviste extinctiontendens i venstre side, og at specielt opmærksomhedsvægtningen (w_H) var balanceret mellem de to synsfelter. Imidlertid viste den øvrige testning i projektet, at JZs neglekt kun manifesterede sig i det nedre synsfelt (en variant af syndromet, der også er fundet i en række nyere neglektstudier, jvf. afsnit 6.1). I en nærmere analyse af resultaterne fandtes der da også en klar tendens til, at JZ opfattede stimuli i denne kvadrant meget dårligt. Interessant var det imidlertid, at JZs extinctiontendens ikke var meget mere ekstrem end en normalpersons (ZM) uden klinisk neglekt.

Der kan tænkes to årsager til dette. For det første er sværhedsgraden af extinction påvirkelig af stimulus *eccentricitet* (Smania, Martini, Prior og Marzi, 1996). Da stimuli i partial report forsøget blot var cirka 3 grader fra centrum, er det tænkeligt, at JZs extinction ville have været betydelig kraftigere ved en mere perifer stimulation. I perimetriopgaven (se kapitel 10), der omfattede stimuli op til 12 grader fra centrum, havde JZ faktisk en tendens til især at overse de mest perifere stimuli. Den anden mulige forklaring på JZs præstation har at gøre med en principiel forskel på extinction og neglekt. Mens extinction er et rent perceptuelt fænomen, har neglekt tillige en eksplorativ komponent. JZs overseelser på Mesulams afkrydsningsopgave (såvel som hans tydelige neglekt i dagligdags situationer) kan være blevet forstærket af, at orienteringsbevægelserne (især med øjnene,

jvf. JZs blikdeviation) havde en tendens til at rette sig mod højre. I forsøget blev dette motoriske bias elimineret af fikseringskravet, som JZ måtte have indskærpet meget kraftigt. Dermed blev kun den rent perceptuelle komponent af neglekten tilbage. Denne komponent var altså kun moderat nedsat hos JZ.

OCs præstationsmønster i partial report forsøget var knap så bemærkelsesværdigt som de tre øvrige patienters. Han havde dog én afvigelse fra normalgruppen, der nåede statistisk signifikans: en ringere sensorisk effektivitet i højre synsfelt. Resultatet kan tolkes i lyset af skadens lateralisering. Både OCs strukturelle (MR-) og funktionelle (SPECT-) scanninger tydede på kontusionsfølger kontralateralt, i den venstre hemisfære. På grund af den diffuse læsionstype var der dog, i forhold til de øvrige patienter, større usikkerhed om involveringen af den anden hemisfære. SPECT-scanningen kunne antyde, at højre frontallap også var påvirket i et vist omfang; en effekt, der dog i så fald var ret diskret. En sådan delvist bilateral skade kunne forklare, at OCs sensoriske forskel mellem synsfelterne trods alt var relativt beskeden i forhold til de øvrige patienters.

OCs α -værdier afveg ikke signifikant fra normalpersonernes. Da skaden var koncentreret omkring det orbitofrontale område (omend formentlig ikke begrænset hertil), var dette måske ikke så overraskende. Top-down styring af opmærksomheden sættes ofte i forbindelse med mere dorsale dele af prefrontal korteks (f.eks. Hopfinger et al., 2000).

Partial report forsøget indeholdt tre suggestive fund. For det første var der i normalgruppen en bemærkelsesværdig, omend non-signifikant, tendens til vertikal extinction. For det andet var hjerneskadegruppen generelt karakteriseret af forringet voluntær styring af opmærksomheden. For det tredje havde alle fire (unilateralt) hjerneskadede patienter spatiale ubalancer i opmærksomheden; ubalancer, der tog individuel form, men som i hvert tilfælde kunne forklares meningsfuldt ud fra skadens lokalisation. Som i whole report må det dog siges, at undersøgelsen omfattede for få individer til at foretage sikre generaliseringer ud fra disse gruppetendenser. Der er tale om forskningsmæssig eksploration.

Derimod blev der afdækket to præstationsmønstre, der efter mit skøn både var interessante og sikre nok til at figurere som egentlige forskningsresultater. GL havde en *sub-klinisk*, men pålidelig tendens til at overse stimuli i venstre synsfelt. Dette fænomen er så vidt vides kun påvist én gang tidligere ved unilateral skade i basal ganglierne. GD havde en tilsvarende diskret tendens til at overse stimuli i det nedre synsfelt. Skadens lokalisation – den occipito-parietale korteks – var i overensstemmelse med en række nyere teorier om vertikal opmærksomhed, og fundet er potentielt

relevant for etableringen af disse teorier. Det er så vidt vides første gang, at en vertikal extinctiontendens er påvist ved unilateral hjerneskade.

Både undersøgelsen af GLs og GDs spatiale opmærksomhed kan fremhæves for *sensitivitet* og *specificitet*. Metoden var sensitiv, fordi diskrete fænomener, der ikke var bemærket i traditionelle kliniske undersøgelser, kunne påvises med statistisk signifikans. Metoden var endvidere specifik, da extinctiontendenserne blev kvantificeret, og baggrunden for fænomenet blev opsplittet i to komponenter: lav opmærksomhedsvægtning og forringet sensorisk forarbejdning. Analysen af de to cases var således relevant for den stående diskussion om extinctionfænomenets sensoriske eller opmærksomhedsmæssige basis (Bisiach, 1991; Vallar et al., 1994). Forsøget antydede, at begge funktioner er påvirkede i extinctionmekanismen. Der var ikke kun nedsat præstation ved dobbeltstimulation, men også når stimuli optrådte *alene* i de ”dårlige” dele af synsfeltet.

10. SENSORISKE KONTROLOPGAVER:

PERIMETRI OG COLOR REPORT

Whole og partial report kan betragtes som de centrale forsøg i projektet. Tolkningen af disse forsøg er dog afhængig af viden om visse basale sensoriske kapaciteter hos forsøgspersonerne. Således kunne det være en fejlkilde, hvis patienterne havde synsudfald i den undersøgte, centrale del af synsfeltet. Ligeledes måtte det undersøges, om forsøgspersonerne havde selektive problemer med at opfatte en eller begge farver i bestemte dele af synsfeltet. Disse sensoriske kapaciteter blev undersøgt med henholdsvis perimetri og color report. Komplikationer i forbindelse med delt opmærksomhed blev søgt elimineret ved at præsentere en stimulus ad gangen. Problemet blev dog ikke helt undgået, da én patient (JZ) synes at have haft vanskeligt ved samtidigt at monitorere fikseringskryds og lysglimt i perimetriopgaven.

10.1. Computeriseret perimetri ad modum Kasten

Synsbanerne har et langt forløb gennem storhjernen, der medfører sårbarhed over for mange typer skader i centralnervesystemet (Paulson, Gjerris, Sørensen og Juhler, 1996). Alt efter skadens locus kan der opstå forskellige typer udfald. Der kan være tale om større udfald som hemi- og kvadrantanopsi, men også om mindre blinde punkter (skotomer). Ved skade i occipitallappen kan der forekomme makulær udsparring: det centrale synsfelt bevares, selv om personen i øvrigt er blind i den ene side (ibid.).

Ingen af patienterne havde i følge journalen større synsudfald, men alligevel var det vigtigt at lave en detaljeret undersøgelse af synsfeltet. Der forelå en mulighed for, at mindre synsudfald var blevet overset i den almindelige kliniske undersøgelse.

E. Kastens computerprogram "PeriMa" blev anvendt. Dette er en veletableret test. Der foreligger normmateriale (Kasten, Gothe, Bunzenthal og Sabel, 1999a) og PeriMa har allerede vist sin værdi som undersøgelsesredskab i adskillige forskningsprojekter (Kasten, Wüst, Behrens-Baumann og Sabel, 1998; Kasten et al., 1999b). Mens der ikke er tale om en autoriseret øjenlægeundersøgelse, er testningen dog betydeligt mere pålidelig end den simple neurologiske konfrontationsundersøgelse, der blev brugt i Duncan et al. (1999). Faktisk er testens spatiale opløsningsevne højere end den, der fås ved standardiserede perimetri-undersøgelser (Kasten et al., 1998). Til gengæld sætter computerskærmens størrelse en begrænsning på, hvor stor en del af

synsfeltet, der kan undersøges. Til det aktuelle formål var dette dog ikke noget problem, da kun synsudfald i det centrale synsfelt var relevante for de øvrige forsøg i projektet.

10.1.1. Testprocedure

Forsøgspersonens opgave var at trykke på en tast, hver gang et lysglimt blev detekteret på skærmen. Lysglimtene blev eksponeret i 200 ms. I normmaterialets undersøgelse (Kasten et al., 1999a) gennemførtes 500 trials. Imidlertid vurderedes det, at dette ville være for anstrengende for patienterne, og at testens spatiale opløsning i forvejen var mere end rigelig. I stedet gennemførtes 250 trials, hvilket svarer til et synsudsnit på 24 grader med en opløsning på cirka 1 grad. Lysglimtene kom i tilfældig rækkefølge og i en tidsligt uregelmæssig rytme, der ikke gav mulighed for gæt. Opgaven oplevedes af de fleste forsøgspersoner som let, men meget monoton.

Forsøgspersonen blev instrueret om at holde øjnene på et centralt fikseringskryds under hele testningen (cirka 15 minutter). Fikseringen kontrolleredes stikprøvevis ved at krydset skiftede farve på uforudsigelige tidspunkter. Farveskiftet kunne kun detekteres, hvis øjnene fikserede direkte på krydset. Den visuelle vinkel kontrolleredes ved, at forsøgspersonens hoved under hele testningen hvilede på en hagestøtte. Afstanden mellem skærmen og forsøgspersonens øjne var således konstant (80 cm.), og de visuelle vinkler kunne beregnes pålideligt. Før den egentlige testning begyndte, fik hver forsøgsperson lov til at øve sig i opgaven i cirka 5 minutter. Dermed sikredes det, at alle var fortrolige med testproceduren.

10.1.2. Resultater og konklusion

Fire kontrolpersoner (RV, JG, BO, LS) detekterede samtlige 250 lysglimt. ZM havde en overseelse, mens HG havde to. I fire af tilfældene (JG, BO, HG og ZM) var der et enkelt fikseringstab undervejs. Blandt de tre patienter uden neglekt (OC, GL, GD) var der flere overseelser (fra OCs ene til GLs seks) men fejlene synes ikke at være centreret om en bestemt del af synsfeltet. Kun GL overså to sammenhængende punkter, i højre side af det centrale synsfelt. Da GLs præstationer i de øvrige opgaver konsekvent var bedst i højre synsfelt, skyldes disse to fejl næppe et synsudfald. GLs relativt høje fejlprocent (der også inkluderede 4 fikseringstab af 24 mulige) antyder en anden baggrund for overseelserne: at hun havde visse vanskeligheder ved at fastholde koncentrationen under den monotone opgave. Denne forklaring bliver ikke mindre plausibel af, at patienter med skader i højre frontallap ofte har problemer med vedvarende opmærksomhed (I.H. Robertson & Manly, 1999). GL havde som bekendt skade i dette område, og i tæt relaterede strukturer.

Også i de andre patienters tilfælde må det anses for usandsynligt, at isolerede overseelser skyldtes små skotomer i synsfeltet. I normmaterialet (hvor testningen godt nok var dobbelt så langvarig) var medianpræstationen så lav som 488/500 mulige (Kasten et al., 1999a). Det er altså almindeligt med adskillige overseelser i PeriMa-testen. I øvrigt befandt de fleste af overseelserne sig i det perifere synsfelt, og var således i alle tilfælde uden relevans for tolkningen af de øvrige forsøg i projektet.

JZs præstation kræver dog en særskilt kommentar. JZ undlod i 26 af 33 tilfælde at reagere på farveskift af fikseringskrydset. Dette skyldtes ikke nødvendigvis problemer med at fastholde fikseringen. Den mest plausible forklaring er, at JZ var optaget af at reagere på lysglimtene, og i et længere tidsinterval herefter ikke registrerede de subtile farveskift (jvf. neglektpatienters abnormt forlængede opmærksomhedsblink; Husain et al., 1997). Denne forklaring blev støttet af JZs spontane beskrivelse af sin præstation.

JZ havde desuden 40 overseelser af lysglimt, hvoraf næsten samtlige var i nedre venstre kvadrant. Præstationen kan både skyldes visuel neglekt og kvadrantanopsi. Det er notorisk vanskeligt at adskille disse to deficits, især med opgaver, hvor neglektpatientens opmærksomhed "bindes" af et centralt fikseringskryds (Walker et al., 1991). Det er dog vigtigt at bemærke, at JZ detekterede cirka en trediedel af lysglimtene i den nedre venstre kvadrant. Dette skete i et usystematisk mønster, der ikke tyder på ét blindt område i synsfeltet. Denne observation sammenholdt med JZs præstation i partial report, hvor perceptionen af enkeltstimuli i nedre venstre kvadrant kun var moderat nedsat, peger på neglekt som den mest plausible forklaring. JZs neglekt er sandsynligvis blevet forstærket af den monotone, arousal-dæmpende perimetriopgave (jvf. I.H. Robertsons arousalhypotese).

Med et mindre forbehold for JZs præstation kan det konkluderes af perimetri-testningen, at synsudfald næppe udgjorde nogen fejlkilde for projektet. Dette kan siges at være en metodisk forbedring i forhold til Duncan et al. (1999), hvor ihvertfald to af de ni patienter udviste klare tegn på synsudfald.

10.2. Color report

Ingen af forsøgsdeltagerne var efter eget udsagn farveblinde. Mere præcist vil dette sige, at de ikke var født med den defekt i retina, som især er hyppig blandt den mandlige del af befolkningen (Lezak, 1995). Farveperception kan dog også være nedsat som følge af kortikal skade. Zeki (1993) fremhæver område V4 i extrastriat kortex som det kritiske "farvemodul" i kortex. Beauchamp et al. (2000) har dog i et nyligt fMRI-studie præsenteret en case, der tyder på en mere distribueret organisering af den kortikale farveperception. I alle tilfælde var det tænkeligt, at patienternes farveperception kunne være forandret efter skaden, og det var derfor nødvendigt med en kontrolopgave. Tolkningen af især partial report forsøget var afhængig af denne test, da vægtningen af distraktorer og targets netop var baseret på farvekategorier.

10.2.1 Testprocedure

Proceduren i color report lagde sig meget tæt op af partial report. Dette skyldtes, at forsøget som nævnt skulle fungere som kontrolopgave. Der præsenteredes ét bogstav, rødt eller grønt, i en af fire positioner (samme 2x2 matrix som i partial report forsøget). Forsøgspersonens opgave var at benævne farven på bogstavet, mens dets identitet var ligegyldig. På basis af nogle indledende øvelsesblokke udvalgte en individuel eksponeringstid for hver forsøgsperson. Som i partial report søgtes denne fastlagt, så genkendelsesprocenten lejrede sig omkring 70%. Dermed blev lofts- og bundeffekter undgået i opgaven. Hver forsøgsperson skulle gennemføre 10 blokke á 24 trials: 240 trials. Da der var 8 trialtyper (2 farver * 4 lokationer) blev der således foretaget 30 målinger pr. kondition. En enkelt patient (GD) gennemførte af praktiske årsager kun 27 målinger pr. kondition (216 trials).

Tabel 10.1 Eksponeringstider i color report

Kontrolgruppen	Eksponeringstid/ms	Patientgruppen	Eksponeringstid/ms
BO	30	GL	40
JG	40	GD	60
ZM	33	OC	44
RV	30	JZ	100
HG	30		
LS	30		

10.2.2. TVA-analyse

Da der kun er tale om én stimulus, er TVA-analysen simpel og kræver ikke model fitting. Sandsynligheden $P_j(col)$ for korrekt farvekategorisering i lokationen j er givet ved:

$$P_j(col) = 1 - e^{-A_j(col)} \quad (1)$$

hvilket er ensbetydende med

$$A_j(col) = -\ln(1 - P_j(col)) \quad (2)$$

hvor $A_j(col)$ benævner produktet af v -værdien for farvegenkendelse i lokation j og den effektive eksponeringstid: $A_j(col) = v_j * (t - t_o)$. Som i partial report kan A_j -værdierne ikke sammenlignes direkte mellem forsøgspersonerne. Forholdene mellem A -værdierne i forskellige lokationer og for forskellige farver er derimod interessant. Som i partial report kan A_j gøres op på tværs af kategorier; således repræsenterer $A_{rød}$ et gennemsnit på tværs af de fire spatiale positioner, mens $A_{\emptyset}(col)$ er udregnet som et gennemsnit af A -værdier på tværs af de to horisontale positioner og begge farvekategorier.

10.2.3. Resultater og konklusion

Forskellen i sensorisk effektivitet mellem de to farver kan beskrives ved $A_{rødgrøn} = A_{rød} / (A_{rød} + A_{grøn})$. I normalgruppen var $A_{rødgrøn}$ gennemsnitligt 0,41 (SD=0,14). I kontrolgruppen var man således generelt en smule bedre til at detektere grøn end rød, uden at denne tendens dog var signifikant. I patientgruppen var der en svag tendens til det modsatte (gennemsnit: 0,52). Forskellen mellem grupperne var ikke signifikant. OC havde særlige problemer med rød: $A_{rødgrøn} = 0,19$, og GD med grøn: $A_{rødgrøn} = 0,67$ (i begge tilfælde var $p=0,032$; dobbeltsidig binomialtest)³⁴.

Den vertikale forskel i sensorisk effektivitet for farver er givet ved $A_V(col) = A_N(col) / (A_N(col) + A_{\emptyset}(col))$. Denne værdi var i kontrolgruppen gennemsnitligt 0,43 (SD=0,053); en svag tendens til bedre farveperception i det øvre synsfelt, der dog ikke nåede signifikans på binomialtesten. Alle patienter udviste et lignende mønster³⁵. Derimod havde flere af patienterne afvigende horisontale forskelle i deres farveperception. For at anskueliggøre dette er de forskellige værdier af indexet $A_H(col) = A_L(col) / (A_L(col) + A_R(col))$ samlet i følgende skema:

³⁴ Ved dobbeltsidig test afveg ingen af de to patients z -værdier dog signifikant fra normen.

³⁵ Indexet kunne dog ikke udregnes for JZ, da hans præstation i øvre højre kvadrant var 100%. A -værdien i denne kvadrant var således $\ln(1-1) = \ln(0)$, hvilket ikke er defineret. I den nedre højre kvadrant var præstationen dog så høj som 0,84, og der synes derfor ikke at have været væsentlige vertikale forskelle i sensorisk effektivitet hos JZ.

Tabel 10.2 Sensorisk effektivitet for farveperception i venstre vs. højre side

Kontroller	$A_H(col)$	Patienter	$A_H(col)$
RV	0,56	JZ	-
HG	0,62	GD	0,47
ZM	0,57	GL	0,16
LS	0,54	OC	0,71
BO	0,54		
JG	0,47		

Gennemsnitsværdien af $A_H(col)$ var i normalgruppen 0,55 (SD=0,049), antydende en bedre farveperception i venstre synsfelt. Denne sideforskel var dog ikke signifikant. I patientgruppen sås flere markante afvigelser fra normalgruppens mønster. GL havde som forventet dårligere farveperception i venstre synsfelt end i højre, i en sådan grad at hun adskilte sig kraftigt fra normalgruppen ($p=0,016$; enkeltsidig binomialtest). Dette gjaldt også JZ, hvis $A_H(col)$ -værdi imidlertid ikke kunne udregnes, da han scorede 100% i den øverste højre kvadrant, og A -værdien i denne kvadrant således ikke var defineret. Ud fra rådata må JZs venstre-højre forskel må dog anslås at have været af samme størrelsesorden som GLs.

OCs farveperception var til forskel fra GL og JZ markant bedre i venstre synsfelt; et lignende mønster som i normalgruppen, men meget mere udtalt ($p=0,016$; enkeltsidig binomialtest)³⁶. OCs sideforskel var i øvrigt næsten helt begrænset til røde stimuli. Hans perception af grønne stimuli var med andre ord så ”robust”, at sideforskellen ikke har været målbar. Interaktionen mellem rød og højresidig stimulering kan måske tolkes som en ”grænsebelastning” for OC, der kombinerede to subtile tendenser, der i den øvrige testning ofte forblev non-signifikante³⁷. Det specifikke deficit for perception af én farve er vanskeligt at forklare, men kan måske have sammenhæng med den skade i det ene øje, som OC havde i tilgift til sin hjerneskade.

GD var den eneste patient, der ikke havde signifikante spatiale forskelle i sin farveperception. Dette var bemærkelsesværdigt på baggrund af hans sensoriske problemer med stimuli i nedre synsfelt i partial report forsøget. Man kan overveje, om hans vertikale ubalance i partial report

³⁶ z -værdierne for både OC og GL var meget afvigende: henholdsvis $z=3,3$ og $z=8,0$.

forsøget havde sammenhæng med, at der her (i modsætning til color report) krævedes objektgenkendelse. Objektgenkendelse antages almindeligvis at aktivere den ventrale bane i synssystemet, og kan derfor have forstærket et normalt bias mod stimuli i det øvre synsfelt (jvf. Drain & Reuter-Lorenz, 1996). Hypotesen må dog betegnes som spekulativ.

Color report forsøget viste altså betydelige sideforskelle i farveperceptionen for tre af patienterne. Dette var vigtigt for tolkningen af partial report forsøget, mere bestemt for vurderingen af forskelle i α -værdier mellem spatiale lokationer. For eksempel havde OC som nævnt i kapitel 9 noget højere α -værdier i venstre side. Dette behøvede ikke at skyldes problemer med top-down selektivitet, men kunne simpelthen have baggrund i ringere evne til at skelne rød og grøn i denne del af synsfeltet.

³⁷ Ved en betragtning af rådata i whole report fandtes det dog, at OC som den eneste havde en signifikant højere score for bogstaver af den ene farve. OCs gennemsnitlige score for grøn var 1,313, mens den for rød var 1,163 ($p < 0,05$).

11. OVERORDNET DISKUSSION AF PROJEKTETS FUND SAMT METODISK PERSPEKTIVERING

11.1 Casemetoden som erfaringsgrundlag i neuropsykologien

Selv om gruppesammenligninger også indgik i projektet, var casestudiet dets primære forskningsmetode. Værdien af casestudier i forhold til gruppestudier er til stående diskussion i neuropsykologien. Det vigtigste argument for casestudiet er den *heterogenitet*, der kendetegner forstyrrelser hos neurologiske patienter (Gade, 1993; Case et al., 1996). Som demonstreret i afsnit 6.1 er der stor variabilitet i selv veletablerede syndromer som visuel neglekt. Ud fra denne betragtning medfører gruppestudier et tab af vital information, da de interessante kognitive fænomener har tendens til at forsvinde i gruppegennemsnit. Et andet, mere praktisk argument for casemetoden har at gøre med undersøgelsens omfang: et studie af én eller få patienter vil af naturlige årsager ofte være meget mere grundig end en undersøgelse af 50-100 patienter. For eksempel kan de individuelle *K*-estimer, der typisk byggede på 480 standardiserede målinger, forventes at være mere pålidelige mål for patientens funktion end enkeltstående præstationer på neuropsykologiske tests.

Hvis metodikken i øvrigt er i orden, er casestudiet karakteriseret af høj validitet i forhold til *den konkrete patient*. Usikkerheden ved casestudiet ligger i dets *eksterne validitet*; hvorvidt undersøgelsens resultater kan generaliseres. I relation til det nærværende studie er det for eksempel interessant, om påvisningen af GLs diskrete extinctiontendens siger noget mere generelt om funktionen af de højre basal ganglier.

Der er forskellige holdninger til dette principielle spørgsmål. Man kan tage det strenge standpunkt, at casestudiets berettigelse udelukkende ligger i generering af forskningshypoteser; at dets fund først får egentlig videnskabelig status, når de replikeres på en stor patientgruppe. Til dette kan siges, at casebeskrivelser *i sig selv* flere gange har haft afgørende betydning for moderne neuropsykologiske teorier (for eksempel patient DF; Milner & Goodale, 1995). En mere pragmatisk holdning er derfor, at enkeltkasuistikken skal tillægges vægt i det omfang, den kan integreres teoretisk med vores øvrige viden om hjernen (Shallice, 1979). Casestudiets værdi afhænger af, om det kan kaste lys over mere almene problemstillinger.

Hvis det igen forudsættes, at casestudiet er metodisk forsvarligt, er dets værdi i sidste ende en skønssag. I det konkrete tilfælde kan man vælge at betragte et casestudie som henholdsvis trivielt, som et interessant fund, der dog kræver uddybning, eller som et forskningsresultat i sig selv.

Grænserne er flydende mellem de tre kategorier. I det følgende vil jeg forsøge at foretage sådanne skøn, og gøre projektets bundlinie op.

11.2. Opsummering af projektets fund

Det er et godt, gammelt forskningsprincip, at man skal være dristig i formuleringen af sine hypoteser, men forsigtig, når de endelige konklusioner skal drages. Jeg har forsøgt at lade dette dobbelte hensyn styre vurderingen af projektets fund. Fundene er som følge heraf opdelt i *eksploration* og *forskningsresultater*. For fundene i begge kategorier gælder, at de kan relateres til den øvrige neuropsykologiske forskning. De eksplorative fund er forbundet med betydelig usikkerhed, typisk med hensyn til generaliserbarhed, men er trods alt bemærkelsesværdige nok til at kunne vejlede fremtidige undersøgelser. Forsknings-resultaterne er derimod vurderet som sikre nok til at stå for sig selv. Som det ses, er de eksplorative fund i overtal. Da projektet bevægede sig på et stort set uudforsket område, er suggestive fund dog ikke at foragte.

Eksploration: forskningshypoteser udsprunget af projektet

1. især *K*, men også *C*, er sårbar over for skade i meget forskellige dele af hjernen. Parietallappen, måske især venstre occipito-parietale del, kan være særligt kritisk.
2. hjerneskade, også unilateral, medfører typisk *C*- og *K*-nedsættelse i *begge* synsfelter.
3. hjerneskade er forbundet med en forhøjet tidsmæssig tærskel for synsopfattelse (t_o).
4. hjerneskade er forbundet med en forhøjet visuel distraktibilitet (α).
5. (unilateral) hjerneskade er forbundet med spatiale extinctiontendenser.
6. normalpersoner har en lille tendens til extinction af stimuli i nedre synsfelt.

Forskningsresultater

- A. højresidig skade i de anteriore basale ganglier kan give venstresidig extinctiontendens.
- B. venstresidig occipito-parietal skade kan give extinctiontendens i nedre synsfelt.

Det ses, at kun to casestudier er fastholdt som forskningsresultater, mens alle gruppesammenligninger er henvist til eksplorkationskategorien. Fire patienter er langt fra noget tilstrækkeligt grundlag til at udtale sig om den generelle population af hjerneskadede. Når punkt 1-5 alligevel er medtaget, skyldes det først og fremmest, at fundene var usædvanligt entydige. Desuden var de fire patienters skader så indbyrdes forskellige, at det virker plausibelt, at punkt 1-5 kan være udtryk for noget generelt ved effekten af hjerneskade; eventuelt noget generelt ved *unilateral*

hjerneskade i punkt 5's tilfælde. Igen må det dog understreges, at observationerne bør replikeres på større patientgrupper. Dette gælder også normalgruppens tendens til at overse stimuli i nedre synsfelt. Effekten var ikke signifikant, men potentielt så vigtig, at man bør være opmærksom på fænomenet i fremtidige studier.

I forhold til specialets emne: *fokal* hjerneskade og visuel opmærksomhed, kan ovennævnte hypoteser om generelle effekter af hjerneskade ses som sidegevinster af projektet. Derimod er fundet af GL og GDs extinctiontendenser direkte relevant for den neuropsykologiske funktionslokalisering, der er projektets egentlige interesse.

GLs tendens til at overse stimuli i venstre synsfelt var forbundet med en ret afgrænset skade i det højre anteriore basal ganglie område, der også involverede en lille del af frontal cortex (se appendix A). Området er tidligere sat i forbindelse med visuel opmærksomhedsfunktion. Det er en del af Posner & Petersens (1990) anteriore netværk, og figurerer tilsvarende i andre netværksmodeller (eksempelvis Mesulam, 1990). Disse modeller antager typisk, at anteriore strukturer såsom basal ganglierne er relateret til de eksplorative, *motoriske* komponenter i opmærksomhedsprocesserne. Sakashita (1991), der rapporterede om lignende subkliniske opmærksomhedsforstyrrelser ved skade i basal ganglierne, benyttede en opgave med et motorisk element: forsøgspersonerne skulle reagere så hurtigt som muligt på visuelle stimuli ved at trykke på en knap. Partial report forsøget i nærværende projekt omfattede derimod ingen motorisk komponent, og påviste en rent *perceptuel* ubalance i GLs opmærksomhed. Dette var teoretisk forventeligt ud fra Duncans (1999) hypotese om extinction som en hyppig følge af unilateral hjerneskade, og leverede en af de første empiriske bekræftelser af denne teori.

Fundet af GDs tendens til at overse stimuli i det nedre synsfelt har en tilsvarende status. Det er tidligere vist, at visuel neglekt ofte er mere udtalt i det nedre synsfelt, men det er formentlig første gang, at en vertikal *extinction*-tendens påvises ved unilateral hjerneskade. GD havde to fokale skader i venstre hemisfære: en i insularegionen og en i det occipito-parietale område med underliggende hvid substans (se appendix A). Ud fra vores øvrige viden om hjernen er der ikke grund til at tro, at læsionen i insula er relevant for den vertikale opmærksomhedsbalance, omend der stadig er tale om en fejlkilde. Derimod er det occipito-parietale område, der ligger i det visuelle systems dorsale bane (Milner & Goodale, 1995), sat i forbindelse med opmærksomhed i det nedre synsfelt (Previc, 1990; Drain & Reuter-Lorenz, 1996). Der er tale om kontroversielle teorier, hvis

empiriske basis stadig er spinkel. Casebeskrivelsen af GD kunne være relevant for dette sparsomt udforskede område i neuropsykologien.

I forhold til Duncans extinctionhypotese, der kun udtaler sig om *horizontal* extinction, var det overraskende, at unilateral skade også kunne lede til vertikal extinction. Fundet er dog stadig foreneligt med Duncans generelle tanke om opmærksomhedsforstyrrelser som ubalance mellem konkurrerende neurale systemer. I GDs tilfælde er der blot tale om en *intra-hemisfærisk* ubalance, sandsynligvis mellem en intakt ventral og en skadet dorsal bane i venstre hemisfæres visuelle system.

Man kan undres over, at der viste sig to teoretisk interessante casebeskrivelser i så begrænset en patientpopulation. Det er imidlertid tænkeligt, at hverken GLs eller GDs hjerneskader var særligt enestående. Opmærksomhedsforstyrrelserne var i begge tilfælde *subkliniske*, og når lignende tilfælde ikke er rapporteret mere hyppigt, kan det skyldes, at tidligere undersøgelsesmetoder har manglet sensitivitet. Der er grund til at tro, at metodikken i det nærværende projekt havde særlige fordele. Herom i specialets sidste afsnit.

11.3. Exit: psyko-fysisk funktionsmodellering i neuropsykologien

Den anvendte metodik var usædvanlig i neuropsykologisk sammenhæng. Både i kraft af sit omfang, sin anvendelse af stimuli nær grænsen for bevidst opfattelse, og sin matematiske funktionsmodellering adskilte undersøgelsen sig fra traditionel neuropsykologisk forskning. Duncan et al. (1999) havde på forhånd illustreret metodens anvendelighed over for visuel neglekt, men det var uvist, om tilgangen kunne bruges ved mere diskrete opmærksomhedsforstyrrelser. I sidste ende var projektets vigtigste formål måske at vurdere denne bredere anvendelighed af metoden.

Generelt var erfaringerne positive. Der kan fremhæves en række fordele ved metoden. For det første muliggjorde TVA-analysen af patienternes visuelle opmærksomhedsfunktion en høj grad af *specificitet*: whole report forsøget kunne differentiere mellem visuel forarbejdningshastighed og kapacitet i VKTH, og partial report forsøget mellem sensorisk effektivitet og opmærksomhedsvægtning. Man må desuden antage, at testningens omfang garanterede en ret pålidelig kvantificering af disse variable. En sådan specificitet har manglet i tidligere undersøgelser, og blandt andet medført uklarhed om extinctionfænomenets karakteristika. For det andet, og dette var måske den vigtigste erfaring i forhold til Duncan et al. (1999), viste metoden sig at være ret *sensitiv*: i to tilfælde (GL og GD) blev der afdækket opmærksomhedsforstyrrelser, der ikke var

bemærket i patienternes tidligere undersøgelser, og endvidere sjældent påvist i forskningslitteraturen. Igen kan man tilskrive testningens omfang, at relativt diskrete effekter kunne nå statistisk signifikans.

Testningens omfang kunne dog også siges at være et problem. Undersøgelsesformen var tidskrævende - hver person gennemgik 11-14 sessioner i projektet - og man kunne hævde, at dette gør forskningsmetoden for upraktisk til generel brug. Efter mit skøn er dette en rent økonomisk hindring. På trods af testningens længde var det ikke vanskeligt at motivere patienterne til at deltage. I princippet kan man derfor undersøge lige så mange patienter, som der er forskningsmæssige ressourcer til. Det nærværende projekts problemer med for lille patientgruppe siger ikke noget om metodens begrænsning per se. Som eventuelt *klinisk redskab* er testningens omfang dog et reelt problem, og til dette formål må der udvikles simple og mindre rigoristiske udgaver af testene.

Der er dog mindst ét principielt problem ved metoden. På trods af et højt standardiseret forsøgsdesign var data grundlæggende af *subjektiv* art: verbale rapporteringer af de stimuli, forsøgspersonen opfattede bevidst. Fordi der anvendtes et stimulationsniveau, der statistisk set lå på grænsen for bevidst opfattelse, byggede rapporteringen ofte på mere eller mindre vage fornemmelser. De fleste forsøgspersoner i projektet kommenterede på vanskeligheden ved at følge disse fornemmelser uden at lave egentlige gæt. I dataanalysen blev det forudsat, at forsøgspersonerne anvendte samme kriterium for respons, men dette er strengt taget umuligt at være sikker på. En homogen fejlprocent, et lille stykke over nul for at forhindre overdreven forsigtighed i rapporteringen, kontrollerede til dels fejlkilden. Man kunne også have valgt et forced-choice paradigme, og efterfølgende have korrigeret statistisk for gæt. Selv om sådanne forholdsregler formentlig er temmelig effektive, er det - ihvertfald på bevidsthedsforskningens nuværende stade - stadig problematisk at håndtere dette flygtige fænomen. Det er tidligere nævnt, at bevidst opfattelse og sensorisk informationsoptag ikke er synonyme. Den anvendte forskningsmetode rettede sig kun mod førstnævnte fænomen, mens implicit perception må undersøges på anden vis.

Som sagt var der også visse problemer med generaliserbarheden af projektets resultater. Fremtidige undersøgelser kan tage højde for dette på forskellige måder. Det er allerede nævnt, at en større patientgruppe end i det nærværende projekt var ønskelig. Man kunne også variere stimulustypen. I det nærværende projekt blev der brugt verbale stimuli (bogstaver), hvilket efter resultaterne at

dømme gav venstre hemisfære en lille fordel. Non-verbale stimuli såsom geometriske figurer kunne anvendes til en mere generel undersøgelse af den visuelle opmærksomhedsfunktion.

Den potentielt vigtigste udvidelse af undersøgelsesmetoden har imidlertid at gøre med målingen af den underliggende anatomi. I det nærværende projekt anvendtes MR-scanninger, der gav viden om hjerneskadernes *struktur*. Da hjerneskader sjældent rammer helt afgrænsede systemer, er det imidlertid vanskeligt at vide præcis hvilken del af en læsion, der forårsager det kognitive deficit. Funktionslokaliseringen kunne forbedres, hvis den strukturelle MR-scanning blev kombineret med en *funktionel* scanning: fMRI. fMRI-teknikken viser de hjerneområder, hvor der er forhøjet metabolisk aktivitet under udførelsen af en given kognitiv opgave. Det kan dog ikke afgøres med sikkerhed, om aktiviteten skyldes andre, for den kognitive funktion irrelevante processer, og en række af aktiveringerne er formentlig artefakter (Beauchamp et al., 2000). Læsionsstudier (hvor strukturel MRI bruges) kan derimod bedre pege på, hvilke områder der er *kritiske* for, om en funktion kan udføres eller ej. Sammenholdt giver de to typer hjernescanninger mulighed for *konvergerende evidens* (Kosslyn, 1994) og eliminerer en række af de fejlkilder, der karakteriserer metoderne hver for sig. Hvis det nærværende projekt skulle følges op, kunne denne metodik give en ekstra dimension i beskrivelsen af opmærksomhedsprocessernes neurologi.

ABSTRACT

Habekost, T. (2000). *Focal brain damage and visual attention*. Master's thesis, University of Copenhagen, Institute for Psychology.

Six control subjects and four patients with various types of focal brain damage were tested using whole and partial report paradigms. Color report and perimetry were included as sensory control tests. The results were analyzed using statistical modelling procedures in terms of Bundesen's (1990) Theory of Visual Attention (TVA). The patient's brain lesions were described by MR- and CT-scans. Whole report showed marked, largely bilateral impairments in attentional capacity among patients, which was specified into capacity of visual short-term memory (K) and visual processing speed (C). Partial report revealed subclinical extinction patterns in two patients: vertical extinction related to a left occipito-parietal lesion, and horizontal extinction in a patient with right basal ganglia damage. The results are discussed in context of both neuropsychological and general theories of visual attention. The study demonstrates the specificity and sensitivity gained by combining psycho-physical testing with mathematical modelling in the analysis of visual attention disorders.

LITTERATURLISTE

- Adair, J.C., Williamson, D.J., Jacobs, D.H., Na, D.L., Heilman, K.M. (1995): Neglect of radial and vertical space: importance of retinotopic reference frame. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 58, 724-728.
- Allport, D.A. (1993): Attention and control: Have we been asking the wrong questions? A critical review of twenty-five years. I: Meyer, D.E. og Kernblum, S. (Eds.): *Attention and Performance XIV*, pp. 183-218. MIT Press, Cambridge MA.
- Baddeley, A. (1986): *Working memory*. Clarendon Press, Oxford.
- Beauchamp, M.S., Haxby, J.V., Rosen, A.C., DeYoe, E.A. (2000): A functional MRI case study of acquired cerebral dyschromatopsia. *Neuropsychologia*, 1170-1179.
- Bisiach, E., Perani, Vallar, G. og Berti, A. (1986): Unilateral neglect: personal and extra-personal. *Neuropsychologia*, 24: 759-767.
- Bisiach, E. (1991): Extinction and neglect: same or different? In: *Brain and space*. Paillard, J. (Ed.) pp. 251-258. Oxford University Press, Oxford.
- Broadbent, D.E. og Broadbent, M.H.P. (1987): From detection to identification: response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception and Psychophysics*, 42, 105-113.
- Bronfenbrenner, U. (1979): *The ecology of human development*. Cambridge, Harvard University Press, Mass.
- Bruhn, P. (1996): Neuropsykologiske dysfunktioner. I: Paulson, O.B., Gjerris, F., Sørensen, P.S. og Juhler, M. (1996): *Klinisk neurologi og neurokirurgi (3. udg.)*. FADLs forlag, København.
- Bundesen, C. (1987): Visual attention: Race models for selection from multielement displays. *Psychological Research*, 49, 113-121.
- Bundesen, C. (1990): A theory of visual attention. *Psychological review*, 97, 523-47.
- Bundesen, C. (1998): Visual selective attention: Outlines of a choice model, a race model and a computational theory. *Visual Cognition*, 5, 287-309.
- Bundesen, C. (1999): A computational theory of visual attention. I: Humphreys, G.W., Duncan, J. og Treisman, A. (Eds.): *Attention, space and action*, pp. 54-72. Oxford University Press, Oxford.
- Bundesen, C., Kyllingsbæk, S., Houmann, K.J., Jensen, R.M. (1997): Is visual attention automatically attracted by one's name? *Perception and Psychophysics*, 59, 714-720.
- Bundesen, C., Pedersen, L.F. og Larsen, A. (1984): Measuring efficiency of selection from briefly exposed visual displays: A model for partial report. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 329-339.

- Bundesen, C., Shibuya, H. og Larsen, A. (1985): Visual selection from multielement displays: A model for partial report. I Posner, M.I. og Marin, O.S.M. (Eds.): *Attention and Performance XI*, pp. 631-649. Lawrence Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ.
- Bush, G., Luu, P. og Posner, M.I. (2000): Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in cognitive sciences*, 4:6, 215-222.
- Butter, C.M., Evans, J., Kirsch, N. og Kewman, D. (1989): Altitudinal neglect following traumatic brain injury: a case report. *Cortex*, 25, 135-146.
- Cappa, S., Sterzi, R., Vallar, G. og Bisiach, E. (1987): Remission of hemineglect and anosognosia during vestibular stimulation. *Neuropsychologia*, 5: 775-782.
- Chelazzi, L., Miller, E.K., Duncan, J. og Desimone, R. (1993): A neural basis for visual search in inferior temporal cortex. *Nature*, 363, 345-347.
- Chelazzi, L., Duncan, J., Miller, E.K. og Desimone, R. (1998): Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *Journal of Neurophysiology*, 80, 2918-2940.
- Chokron, S. og Bartholomeo, P. (1997): Patterns of dissociations between left hemineglect and deviation of the egocentric reference. *Neuropsychologia*, 11: 1503-1508.
- Clark-Carter, D. (1997): *Doing quantitative psychological research*. Psychology Press, Hove, UK.
- Code, C., Wallesch, C.-W., Joannette, Y. og Lecours, A.R. (Eds.) (1996): *Classic cases in neuropsychology*. Psychology Press, Erlbaum, UK.
- Cohen, A. og Rafal, R.B. (1991): Attention and feature integration: illusory conjunctions in a patient with parietal lobe lesions. *Psychological Science*, 2, 106-110.
- Cohen, R.A. (1993): *The neuropsychology of attention*. Plenum Press, London.
- Cohen, R.A. et al (1994): Mechanisms of spatial attention: the relationship of macrostructure to microstructure in parietal neglect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6:4, 377-387.
- Cooper, J.R., Bloom, F.E. og Roth, R.H. (1996): *The biochemical basis of neuropharmacology (7 ed.)*. Oxford University Press, Oxford.
- Corbetta, M., Miezin, F.M., Dobmeyer, S., Shulman, G.L., Petersen, S.E. (1991): Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color and speed: functional anatomy by positron emission tomography. *Journal of Neuroscience*, 11, 2383-2402.
- Corbetta, M., Miezin, F.M., Shulman, G.L. og Petersen, S.E. (1993): A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, 13, 1202-1226.
- Corbetta, M., Shulman, G.L., Miezin, F.M., og Petersen, S.E. (1995): Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science*, 270, 802-805.

- Corbetta, M., Kincade, J.M., Ollinger, J.M., McAvoy, M.P. og Shulman, G.L. (2000): Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3:3, 292-297.
- Coslett, H.B., Bowers, D. og Heilman, K.M. (1987): Reduction in cerebral activation after right hemisphere stroke. *Neurology*, 37, 957-962.
- Coull, J.T., Frith, C.D., Freckowiak, R.S.J. og Grasby, P.M. (1996): A right fronto-parietal network for rapid visual information-processing: A PET study of sustained attention and working memory. *Neuropsychologia*, 34, 1085-1095.
- Cowey, A. (1985): Aspects of cortical organization related to selective attention and selective impairments of visual attention. I: Posner, M. og Marin, O. (Eds.): *Attention and performance XI*, pp. 41-62. Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Cowey, A., Small, M. og Ellis, S. (1994): Left visuo-spatial neglect can be worse in far than near space. *Neuropsychologia*, 9, 1059-1066.
- Cowey, A., Small, M. og Ellis, S. (1999): No abrupt change in visual hemineglect from near to far space. *Neuropsychologia*, 1, 1-6.
- Damasio, H. og Damasio, A. (1989): *Lesion analysis in neuropsychology*, Oxford University Press, Oxford.
- De Renzi (1982): *Disorders of space exploration and cognition*. Chichester, Wiley.
- Desimone, R. (1991): Face-selective cells in the temporal cortex of monkeys. *Journal of cognitive neuroscience*, 1, 1-9.
- Desimone, R. og Duncan, J. (1995): Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
- Desimone, R. (1999): Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. I: Humphreys, G.W., Duncan, J. og Treisman, A. (Eds.): *Attention, space and action*, pp. 13-31. Oxford University Press, Oxford.
- Devinsky, O., Morrell, M.J. og Vogt, B.A. (1995): Contributions of anterior cingulate cortex to behavior. *Brain*, 118, 279-306.
- Drain, M. og Reuter-Lorenz, P.A. (1996): Vertical orienting control: evidence for attentional bias and "neglect" in the intact brain. *Journal of Experimental Psychology: General*, 139-158.
- Duncan, J. (1984): Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 501-517.
- Duncan, J. og Humphreys, G. (1989): Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.

- Duncan, J., Ward, R. og Shapiro, K. (1994): Direct measurement of attentional dwell time in human vision. *Nature*, 369, 313-315.
- Duncan, J. (1996): Cooperating brain systems in selective perception and action. I: Inui, T. og McClelland, J.L. (Eds.): *Attention and Performance XVI*, pp. 549-78. MIT Press, Cambridge MA.
- Duncan, J., Humphreys, G.W. og Ward, R. (1997a): Competitive brain activity in visual attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 7, 255-261.
- Duncan, J., Martens, S. og Ward, R. (1997b): Restricted attentional capacity within but not between sensory modalities. *Nature*, 387, 808-810.
- Duncan, J. (1999): Converging levels of analysis in the cognitive neuroscience of visual attention. I: Humphreys, G.W., Duncan, J. og Treisman, A. (Eds.): *Attention, space and action*, pp. 112-130. Oxford University Press, Oxford.
- Duncan, J., Bundesen, C., Olson, A., Humphreys, G., Chavda, S., Shibuya, H. (1999): Systematic analysis of deficits in visual attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 450-478.
- Farah, M.J. (1990): *Visual agnosia*. MIT Press, London.
- Farah, M.J., Brunn, J.L., Wong, A.B., Wallace, M.A. og Carpenter, P.A. (1990): Frames of reference for allocating attention to space: evidence from the neglect syndrome. *Neuropsychologia*, 4: 335-347.
- Farne, A., Ponti, F., Ladavas, E. (1998): In search of biased egocentric reference frames in neglect. *Neuropsychologia*, 7, 611-623.
- Felleman, D.J. og Essen, D.C. (1991): Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral cortex*, 1, 1-47.
- Fodor, J.A. og Pylyshyn, Z.W. (1981): How direct is visual perception: some reflections on Gibson's "ecological approach". *Cognition*, 9, 139-196.
- Foster, J.K., Estes, G.A. og Stuss, D.T. (1994): The cognitive neuropsychology of attention: a frontal lobe perspective. *Cognitive Neuropsychology*, 11, 133-149.
- Gade, A. (1993): Neuropsykologisk forskning. I: N.K. Rosenberg, K.V. Mortensen, E. Hougaard, S. Lunn og A. Theilgaard (Eds.): *Klinisk psykologisk forskning*. Dansk psykologisk forlag, Slangerup.
- Gade, A. (1997): *Hjerneprocesser. Kognition og neurovidenskab*. Frydenlund, København.
- Gardner, H. (1987): *The mind's new science. A history of the cognitive revolution (2. udg.)*. Basic books, New York.
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B. og Mangun, G.R. (1998): *Cognitive neuroscience*. W.W. Norton & co., New York.
- Gibson, J.J. (1979): *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin, Boston.

- Goldman-Rakic, P.S. (1988): Topography of cognition: parallel distributed networks in primate association cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 11, 137-156.
- Goldman-Rakic, P.S. (1992): Working memory and the mind. *Scientific American*, 267, 111-117.
- Guariglia, C. og Antonucci, G. (1992): Personal and extrapersonal space: a case of neglect dissociation. *Neuropsychologia*, 11: 1001-1009.
- Halligan, P.W. og Marshall, J.C. (1989): Is neglect (only) lateral? A quadrant analysis of line cancellation. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11, 793-798.
- Halligan, P.W. og Marshall, J.C. (1991): Left neglect for near but not far space in man. *Nature*, 350: 498-500.
- Halligan, P.W. og Marshall, J.C. (1994): Toward a principled explanation of unilateral neglect. *Cognitive Neuropsychology*, 11, 167-206.
- Haxby, J.V., Petit, L., Ungerleider, L.G. og Courtney, S.M. (2000): Distinguishing the functional roles of multiple regions in distributed neural systems for visual working memory. *NeuroImage*, 11:5, 380-392.
- Heilman, K.M. og Valenstein, E. (1972): Frontal lobe neglect in man. *Neurology*, 22, 660-664.
- Heimer, L. (1995): *The human brain and spinal cord. Functional neuroanatomy and dissection guide (2 ed.)*. Springer-Verlag, New York.
- Hillis, A.E. og Caramazzi, A. (1995): A framework for interpreting distinct patterns of hemispatial neglect. *Neurocase*, 1: 189-207.
- Hopfinger, J.B., Buonocore, M.H. og Mangun, G.R. (2000): The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience*, 3:3, 284-291.
- Humphreys, G.W. og Bruce, V. (1989): *Visual cognition*. Lawrence Erlbaum Ass. Publishers, Hove, UK.
- Humphreys, G.W., Romani, C., Olson, A., Riddoch, M.J. og Duncan, J. (1994): Non-spatial extinction following lesions of the parietal lobe in humans. *Nature*, 372, 357-359.
- Humphreys, G.W. (1997): A vision over time and space. *Nature*, 385, 120-121.
- Humphreys, G.W., Duncan, J. og Treisman, A. (Eds.): *Attention, space and action*. Oxford University Press, Oxford.
- Husain, M. og Kennard, C. (1996): Visual neglect associated with frontal lobe infarction. *Journal of neurology*, 243, 652-657.
- Husain, M. (1997): Distractor dependent frontal neglect. *Neuropsychologia*, 829-841.
- Husain, M., Shapiro, K., Martin, J. og Kennard, C. (1997): Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature*, 385, 154-156.

- James, W. (1890): *Principles of psychology*. Macmillan & co., London.
- Kahneman, D. (1973): *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Karnath, H.-O. (1994): Subjective body orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation. *Brain* 117: 1001-1012.
- Karnath, H.-O. og Ferber, S. (1999): Is space representation distorted in neglect? *Neuropsychologia*, 1: 7-15.
- Kasten, E., Gothe, J., Bunzenthal, U. og Sabel, B.A. (1999a): Kampimetrisk undersøgelse af visuelle funktioner på computermonitor. *Zeitschrift für Psychologie*, 207, 97-118.
- Kasten, E., Poggel, D.A., Müller-Oehring, E., Gothe, J., Schulte, T. og Sabel, B.A. (1999b): Restoration of vision II: Residual functions and training-induced visual field enlargement in brain-damaged patients. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 15, 273-287.
- Kasten, E., Wüst, S., Behrens-Baumann, W. og Sabel, B.A. (1998): Computer-based training for the treatment of partial blindness. *Nature Medicine*, 4:9, 1083-1087.
- Kimura, D. (1973): The asymmetry of the human brain. *Scientific American*, 228, 70-78.
- Kinsbourne, M. og Warrington, E.K. (1962): A disorder of simultaneous form perception. *Brain*, 85, 461- 486.
- Kinsbourne, M. (1993): Orientational bias model of unilateral neglect: evidence from attentional gradients within hemisphere. In: *Unilateral neglect. Clinical and experimental studies*. 63-86.
- Robertson, I.H. og Marshall, J.C. (Eds.), Lawrence Erlbaum ass. publ., Hove, UK.
- Kolb, B. og Whishaw, I.Q. (1996): *Fundamentals of human neuropsychology (4 ed.)*. W.H. Freeman & co., New York.
- Kosslyn, S. (1994): *Image and brain*. MIT Press, Cambridge MA.
- Kuhn, T.S. (1996): *The structure of scientific revolutions (3. udg.)*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Køppe, S. (1993): *Virkelighedens niveauer (2. udg.)*. Gyldendal, Danmark.
- Ladavas, E., Corletti, M. og Gori, G. (1994): Automatic and voluntary orienting of attention in patients with visual neglect: horizontal and vertical dimensions. *Neuropsychologia*, 10: 1195-1208.
- Leibniz, G.W. (1765/1996): *New essays concerning human understanding*. (P. Remnant (translator) og J. Bennett), Cambridge University Press, London.
- Levine, D.N. og Calvanio, R. (1978): A study of the visual defect in verbal alexia-simultanagnosia. *Brain*, 101, 65-81.
- Lezak, M.D. (1995): *Neuropsychological Assessment*. Oxford University Press, Oxford.

- Lisman, J.E. og Idiart, M.A.P. (1995): Storage of 7 ± 2 short term memories in oscillatory subcycles. *Science*, 267, 1512-1515.
- Logan, G.D. (1996): The CODE theory of visual attention: An integration of space-based and object-based attention. *Psychological Review*, 103, 603-649.
- Logie, R.H. (1995): *Visuo-spatial working memory*. Erlbaum, Hove, UK.
- Luck, S.L., Chelazzi, L., Hillyard, S.A. og Desimone, R. (1997): Mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 77, 24-42.
- Luck, S.L. og Vogel, E.K. (1997): The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.
- Mammen, J. (1989): *Den menneskelige sans - et essay om psykologiens genstandsområde*. Dansk Psykologisk Forlag, København.
- Marshall, J.C. og Halligan, P.W. (1988): Blindsight and insight in visuo-spatial neglect. *Nature*, 336, 766-767.
- McAdams, C.J. og Maunsell, J.H.R. (1999): Effects of attention on orientation-tuning functions of single neurons in macaque cortical areas V4. *Journal of Neuroscience*, 19(1), 431-441.
- Mesulam, M.-M. (1981): A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology*, 10, 309-325.
- Mesulam, M.-M. (1985): *Principles of behavioral neurology*. Philadelphia: F.A. Davis.
- Mesulam, M.-M. (1990): Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language, and memory. *Annals of Neurology*, 28, 597-613.
- Milner, A. D. og Goodale, M.A. (1995): *The visual brain in action*. Oxford University Press, Oxford.
- Miller, G.A. (1956): The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Morrow, L., Vrtunski, K., Kim, Y. og Boller, F. (1981): Arousal responses to emotional stimuli and laterality of lesion. *Neuropsychologia*, 19, 65-71.
- Murphy, T.D. og Erikson, C.W. (1987): Temporal changes in the distribution of attention in the visual field in response to precues. *Perception and Psychophysics*, 42, 576-586.
- Myerson, J., Hale, S., Wagstaff, D., Poon, L.W. og Smith, G.A. (1990): The information-loss model: A mathematical theory of age-related cognitive slowing. *Psychological Review*, 97,4, 475-487.
- Naur, P. (1999): *Antifilosofisk leksikon*. Natur-com publishing, Danmark.
- Neisser, U. (1976): *Cognition and reality*. W.H. Freeman, San Francisco.

- Paulson, O.B., Gjerris, F., Sørensen, P.S. og Juhler, M. (1996): *Klinisk neurologi og neurokirurgi* (3. udg.). FADLs forlag, København.
- Paus, T., Zatorre, R.J., Hofle, N., Caramanos, Z., Gotman, J., Petrides, M. og Evans, A.C. (1997): Time-related changes in neural systems underlying attention and arousal during the performance of an auditory vigilance task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 392-408.
- Pellegrino, G. og De Renzi, E. (1995): An experimental investigation on the nature of extinction. *Neuropsychologia*, 33, 153-170.
- Pellegrino, G., Basso, G. og Frassinetti, F. (1997): Spatial extinction on double asynchronous stimulation. *Neuropsychologia*, 35, 1215-1223.
- Pellegrino, G., Basso, G. og Frassinetti, F. (1998): Visual extinction as a spatio-temporal disorder of selective attention. *Neuroreport*, 9, 835-839.
- Perry, R.J. og Hodges, J.R. (1999): Attention and executive deficits in Alzheimer's disease. *Brain*, 122: 383-404.
- Petersen, S.E., Robinson, D.L., Morris, J.D. (1987): Contributions of the pulvinar to visual spatial attention. *Neuropsychology*, 25, 97-105.
- Phaf, R.H., Van der Heijden, A.H.C. og Hudson, P.T.W. (1990): SLAM: A connectionist model for attention in visual selection tasks. *Cognitive Psychology*, 22, 273-341.
- Pigott og Milner (1994): Capacity of visual short-term memory after unilateral frontal or anterior temporal-lobe resection. *Neuropsychologia*, 32, 969-981.
- Pillon, B., Dubois, B., Bonnet, A-M, Esteguy, M., Guimaraes, J., Vigouret, J-M., Lhermitte, F., Agid, Y. (1989): Cognitive slowing in Parkinson's disease fails to respond to levodopa treatment: the 15-objects test. *Neurology*, 39, 762-768.
- Pitzalis, S., Spinelli, D. og Zoccolotti (1997): Vertical neglect: behavioral and electrophysiological data. *Cortex*, 33, 679-688.
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R. og Davidson, B.J. (1980): Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-179.
- Posner, M.I., Walker, J.A., Friedrich, F.J. og Rafal, R.D. (1984): Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *Journal of Neuroscience*, 4, 1863-1874.
- Posner, M.I., Walker, J.A., Friedrich, F.J. og Rafal, R.D. (1987): How do the parietal lobes direct covert attention? *Neuropsychologia*, 25, 135-145.
- Posner, M.I. og Petersen, S.E. (1990): The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M.I. og Dehaene, S. (1994): Attentional networks. *Trends in Neuroscience*, 17, 75-79.

- Previc, F.H. (1990): Functional specialization in the lower and upper visual field in humans: Its ecological origins and neurophysiological implications. *Behavioral and Brain Sciences*, 13, 519-575.
- Rafal, R.D. (1998): Neglect. I: Parasuraman, R. (ed.): *The attentive brain*, pp. 489-525. MIT Press, London.
- Rapcsak, S.Z., Cimino, C.R., Heilman, K.M. (1988): Altitudinal neglect. *Neurology*, 38, 277-281.
- Raymond, J.E., Shapiro, K.L. og Arnell, K.M. (1992): Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 849-860.
- Reynolds, J.H., Chelazzi, L. og Desimone, R. (1999): Competitive mechanisms subserve attention in macaque areas V2 and V4. *Journal of Neuroscience*, 19(5), 1736-1753.
- Robertson, I.H. (1993): The relationship between lateralised and non-lateralised attentional deficits in unilateral neglect. I: I.H. Robertson og J.C. Marshall: *Unilateral neglect: Clinical and experimental studies*, 257-279. Lawrence Erlbaum Ass. Publ., Hove, UK.
- Robertson, I.H., Manly, T., Beschin, N., Daini, R., Haeske-Dewick, H., Hömberg, V., Jehkonen, M., Pizzamiglio, L., Shiel, A. og Weber, E. (1997a): Auditory sustained attention is a marker of unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia*, 35, 1527-1532.
- Robertson, L. og Eglin, M. (1993): Attentional search in unilateral visual neglect. I: I.H. Robertson og J.C. Marshall: *Unilateral neglect: Clinical and experimental studies*, pp. 169-193. Lawrence Erlbaum Ass. Publ., Hove, UK.
- Robertson, L., Treisman, A., Friedman-Hill, S. og Grabowecky, M. (1997b): The interaction of spatial and object pathways: evidence from Balint's syndrome. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9:3, 295-317.
- Rubin, E. (1924): Opmærksomhed. I Chr. Blangstrup (Ed.): *Salomonsens Konversationsleksikon 18 (XVIII)*, 2. udg, pp. 538-539. J.H. Schultz' Forlagsboghandel A/S. København, Danmark.
- Sakashita, Y. (1991): Visual attentional disturbance with unilateral lesions in the basal ganglia and deep white matter. *Annals of Neurology*, 30, 673-678.
- Schneider, W. og Shiffrin, R.M. (1977): Controlled and automatic human information processing. I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Shallice, T. (1979): Case study approach in neuropsychological research. *Journal of Clinical Neuropsychology*, 1, 183-211.
- Shelton, P.A., Bowers, D. og Heilman, K.M. (1990): Peripersonal and vertical neglect. *Brain*, 113, 191-205.

- Shibuya, H. og Bundesen, C. (1988): Visual selection from multielement displays: measuring and modeling effects of exposure duration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 591-600.
- Shibuya, H. (1991): *Studies on visual selection: empirical investigations and stochastic modelling*. Licentiatatavhandling ved Psykologisk Laboratorium, Københavns Universitet.
- Shibuya, H. (1993): Efficiency of visual selection in duplex and conjunction conditions in partial report. *Perception and Psychophysics*, 54 (6), 716-732.
- Siegel, S. (1956): *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. McGraw-Hill, New York.
- Smania, W., Martini, M.C., Prior, M. og Marzi, C.A. (1996): Input and response determinants of visual extinction: a case study. *Cortex*, 32 (4), 567-591.
- Sperling, G. (1960): The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs*, 74, 11, 1-26.
- Spinelli, D., Angelelli, P., Luca, M og Burr, D.C. (1996): VEP in neglect patients have longer latencies for luminance but not for chromatic patterns. *Neuroreport*, 7, 815-819.
- Spinelli, D., Burr, D.C. og Morrone, M.C. (1994): Spatial neglect is associated with increased latencies of visual evoked potentials. *Visual Neuroscience*, 11, 909-918.
- Townsend, J.T. og Ashby, F.G. (1983): *Stochastic modeling of elementary psychological processes*. Cambridge University Press, London.
- Treisman, A.M. og Gelade, G. (1980): A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A.M. og Schmidt, H. (1982): Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, 14, 107-141.
- Treisman, A.M. og Paterson, R. (1984): Emergent features, attention and object perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 12-21.
- Treisman, A.M. og Sato, S. (1990): Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16:3, 459-478.
- Treisman, A.M. (1991): Search, similarity and integration of features between and within dimensions. *Journal of Experimental Psychology: Human Performance and Perception*, 17, 652-676.
- Treisman, A.M. (1996): The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, 2, 171-179.
- Treisman, A.M. (1999): Feature binding, attention and object perception. I: Humphreys, G.W., Duncan, J. og Treisman, A. (Eds.): *Attention, space and action*, 91-112. Oxford University Press, Oxford.

- Treue, S. og Maunsell, J.H.R. (1996): Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST. *Nature*, 382, 539-541.
- Treue, S. og Trujillo, J.C.M. (1999): Feature-based attention influences motion processing gain in macaque visual cortex. *Nature*, 399, 575-579.
- Tsal, Y., Meiran, N., Lavie, N. (1994): The role of attention in illusory conjunctions. *Perception and Psychophysics*, 55, 350-358.
- Ungerleider, L.G. og Mishkin, M. (1982): Two cortical visual systems. In: *Analysis of visual behavior*, (ed. Ingle, D.J., Goodale, M.A. og Mansfield, R.J.W.), pp. 549-586. MIT Press, Cambridge, MA.
- Vallar, G. og Peroni, D. (1986): The anatomy of unilateral neglect after right hemisphere stroke lesions. A clinical/CT-scan correlation study in man. *Neuropsychologia*, 5, 609-622.
- Vallar, G. (1993): The anatomical basis of spatial hemineglect in humans. In: *Unilateral neglect. Clinical and experimental studies*. 27-59. Robertson, I.H. og Marshall, J.C. (Eds.), Lawrence Erlbaum Ass. Publ., Hove, UK.
- Vallar, G., Rusconi, M.L., Bignamini, L., Germiniani, G. og Perani, D. (1994): Anatomical correlates of visual and tactile extinction in humans: a clinical CT scan study. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 57, 464-470.
- Vandenberghe, R., Duncan, J., Dupont, P., Ward, R., Poline, J.B., Bormans, G., Michiels, J., Mortelmans, L. og Orban, G.A. (1997): Attention to one or two features in left or right visual field: a positron emission tomography study. *Journal of Neuroscience*, 17, 3739-3750.
- van der Heijden, A.H.C. (1992): *Selective attention in vision*. Routledge, London.
- van der Heijden, A.H.C. (1993): The role of position in object selection in vision. *Psychological Research*, 56, 44-58.
- van der Velde, F. og van der Heijden, A.H.C. (1993): An element in the visual field is just a conjunction of attributes: A critique of Bundesen (1991). *Perception and Psychophysics*, 53, 345-349.
- van Zomeran, A.H. og Brouwer, W.H. (1987): Head injury and concepts of attention. I H.S. Levin, J. Grafman og H.M. Eisenberg (Eds.): *Neurobehavioral recovery from head injury*. Oxford University Press, Oxford.
- van Zomeran, A.H. og Brouwer, W.H. (1994): *Clinical neuropsychology of attention*. Oxford University Press, New York.
- Vuilleumier, P.O og Rafal, R.D. (2000): A systematic study of visual extinction. *Brain*, 123, 1263-1279.

- Walker, R. (1995): Spatial and object-based neglect. A review. *Neurocase*, 1: 371-383.
- Walker, R., Findlay, J.M., Young, A.W. og Welch, J. (1991): Disentangling neglect and hemianopia. *Neuropsychologia*, 29, 1019-1027.
- Ward, L. (1982): Determinants of attention to local and global features of visual forms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 562-581.
- Ward, R., Duncan, J. og Shapiro, K. (1996): The slow time-course of visual attention. *Cognitive Psychology*, 30, 79-109.
- Warrington, E.K. og Rabin, P. (1971): Visual span of apprehension in patients with unilateral cerebral lesions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 23, 423-431.
- Wolfe, J.M., Cave, K.R. og Franzel, S.L. (1989): Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 15 (3), 419-433.
- Ylikoski, R., Ylikoski, A., Erkinjuntti, T., Sulkava, R., Raininko, R. og Tilvis, R. (1993): White matter changes in healthy elderly persons correlate with attention and speed of mental processing. *Archives of Neurology*, 50, 818-824.
- Zeki, S. (1993): *A vision of the brain*. Blackwell Science, London.

APPENDIX B

MODEL FITTING PROCEDUREN I WHOLE REPORT

Model fittingen i specialeprojektet var identisk med proceduren i Duncan et al. (1999), og appendixet følger tæt redegørelsen i nævnte artikel.

Ifølge TVA-modellen er der i whole reporten opgaven tilknyttet en forarbejdningsrateparameter v_i til hvert element i stimulusfeltet. Denne v -værdi kan variere mellem hver af de fem lokationer. Forarbejdningstiden for hvert element er lig den effektive eksponeringstid for stimulus, med det forbehold at forarbejdning stopper hvis og når K elementer er færdige. Forudsat at den fysiske eksponeringstid t overstiger en tærskelværdi t_0 er den effektive eksponeringstid lig $(t - t_0)$, hvis stimulus følges af maskering, og $(t - t_0 + \mu)$, hvis stimulus er umaskeret. Parameteren μ beskriver henfaldsraten af v -værdier efter stimulus' forsvinden. Parametrene t_0 og μ var begrænset til at være ens for stimuli i de to synsfelter, men forarbejdningsraterne v_1, v_2, \dots, v_5 og VSTMs kapacitet K var estimeret separat i de to synsfelter.

For enhver værdi af parametrene tildeler modellen en sandsynlighed for ethvert muligt udfald af en whole report trial. For eksempel, givet bestemte værdier af K, t_0 og μ ved en visning med fem elementer med v -værdierne v_1, v_2, \dots, v_5 og eksponeringstid t , kan man beregne sandsynligheden for at elementerne 1 og 3, men ikke elementerne 2, 4 og 5, indkodes i korttidshukommelsen (så elementerne kan rapporteres uden gæt).

Lad S være mængden af elementer i stimulusfeltet. Lad $R \subseteq S$ og betragt sandsynligheden $P_S(R)$ for, at mængden af elementer, der forarbejdes færdig, er lig R . Hvis antallet af elementer i R , n_R , er større end kapaciteten i VSTM, K , er $P_S(R) = 0$. Hvis $n_R < K$ eller $n_R = K = n_S$, hvor n_S er antallet af elementer i S , da er

$$P_S(R) = \prod [1 - e^{-v_i t}] \prod e^{-v_j t}$$

hvor v_i og v_j er forarbejdningsraterne for elementerne i og j , og τ er den effektive eksponeringstid for den pågældende stimulus. Hvis $n_R = K < n_S$, da er

$$P_S(R) = \sum \int v_i e^{-v_i t} \prod [1 - e^{-v_j t}] \prod e^{-v_k t} dt \quad (A1)$$

Her er det i -te udtryk i summationen sandsynligheden for, at element i i R bliver færdig til tiden t , således at: (a) $0 < t \leq \tau$, (b) alle andre elementer i R bliver færdige til eller før tiden t , og (c) ingen andre elementer i S bliver færdige til eller før tiden t .

Hvis $S = \{1,2,3,4,5\}$ kan følgende udtryk udledes af ligning A1. For $K=1$ og $R=\{1\}$:

$$P_s(R) = v_1 g(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)$$

hvor funktionen g er givet ved: $g(x) = (1 - e^{-x\tau}) / x$

For $K = 2$ og $R = \{1,2\}$:

$$P_s(R) = v_1 g(v_1 + v_3 + v_4 + v_5) + v_2 g(v_2 + v_3 + v_4 + v_5) - (v_1 + v_2) g(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)$$

For $K = 3$ og $R = \{1,2,3\}$:

$$P_s(R) = v_1 g(v_1 + v_4 + v_5) + v_2 g(v_2 + v_4 + v_5) - v_3 g(v_3 + v_4 + v_5) - (v_1 + v_2) g(v_1 + v_2 + v_4 + v_5) - (v_1 + v_3) g(v_1 + v_3 + v_4 + v_5) - (v_2 + v_3) g(v_2 + v_3 + v_4 + v_5) + (v_1 + v_2 + v_3) g(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5).$$

For $K = 4$ og $R = \{1,2,3,4\}$:

$$P_s(R) = v_1 g(v_1 + v_5) + v_2 g(v_2 + v_5) - v_3 g(v_3 + v_5) + v_4 g(v_4 + v_5) - (v_1 + v_2) g(v_1 + v_2 + v_5) - (v_1 + v_3) g(v_1 + v_3 + v_5) - (v_1 + v_4) g(v_1 + v_4 + v_5) - (v_2 + v_3) g(v_2 + v_3 + v_5) - (v_2 + v_4) g(v_2 + v_4 + v_5) - (v_3 + v_4) g(v_3 + v_4 + v_5) + (v_1 + v_2 + v_3) g(v_1 + v_2 + v_3 + v_5) + (v_1 + v_2 + v_4) g(v_1 + v_2 + v_4 + v_5) + (v_1 + v_3 + v_4) g(v_1 + v_3 + v_4 + v_5) + (v_2 + v_3 + v_4) g(v_2 + v_3 + v_4 + v_5) - (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) g(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)$$

For hver individuel forsøgsdeltager blev estimer af modelparametrene opnået ved at beregne et maximum likelihood fit til trial-for-trial data. For hver trial blev sandsynligheden for at opnå det observerede svar beregnet, givet bestemte værdier af de teoretiske parametre. De bedste parameterfits for hele datasættet blev estimeret som de, der på tværs af trials gav den højeste forenede

sandsynlighed for alle observerede svar. Ikke-heltallige værdier af K blev behandlet som blandinger af sandsynligheder. For eksempel blev en K -værdi på 3.7 behandlet som en blanding af værdierne 3 og 4, således at $K = 4$ med en sandsynlighed på 0.7 for enhver trial. Af denne grund var estimer for K begrænset nedadtil med et tal, der var 1.0 mindre end det maksimale antal korrekt rapporterede bogstaver på enhver enkelttrial (bortset fra outliers, se nedenfor). Følgende de ovennævnte antagelser er sandsynligheden for at observere n_R korrekte bogstaver nul for værdier af n_R større end K rundet op til nærmeste heltal.

For at få robuste estimer for K blev der dog set bort fra outlier trials under estimationen. En trial blev betragtet som en outlier, hvis (a) scoren på denne trial var den højeste score opnået af forsøgsdeltageren i det stimulerede synsfelt og (b) scoren højst blev opnået to gange af forsøgsdeltageren i dette synsfelt. Outlierne udgjorde i alt tre trials (CP og SWs femmere). Der blev set bort fra data fra disse tre trials under parameterestimationen, men de er inkluderet i den samlede mængde af observerede data, der præsenteres i kapitel 8.