

DEL 1A

GRUNNLEGGENDE KUNNSKAP

Innledning

I denne delen av boken formidles en del grunnleggende kunnskaper om hjernen og dens utvikling, med vekt på områder der det er kommet ny kunnskap de siste tiårene, og på områder med særlig betydning for utvikling av sosiale, kognitive og skolemessige funksjoner i barne- og ungdomsalder og forståelse av barn og unge som har spesielle vansker på ulike funksjonsområder. Kunnskap om hjernen og hjernens utvikling er nødvendig for å ta vare på den og for å forebygge sykdom og skader. Slik kunnskap kan også være nyttig for å legge til rette for best mulige utviklingsbetingelser, slik at det enkelte barn kan få utnyttet sitt potensial. Videre kan denne kunnskapen bidra til at man kan forstå og behandle nevrou utviklingsforstyrrelser og nevropsykiatriske tilstander. Norske hjerneforskere har bidratt vesentlig i internasjonal sammenheng med etablering av ny kunnskap, både innen grunnforskning på den friske hjernen og med studier av ulike sykdommer i hjernen.

I fosterlivet dannes grovskissen til de nettverkene som skal etableres i hjernen. Nerveceller former seg, vandrer til ulike områder av hjernen (migrasjon), finner sin plassering og legger dermed grunnlaget for den endelige organiseringen av nervesystemet. Nervecellene sender utløpere til nære og fjerne målområder. Hele denne komplekse dannelsesprosessen er styrt av genetisk bestemte programmer. Gjennom hele utviklingsprosessen kan organiseringen av nervesystemet også påvirkes av faktorer fra de ytre omgivelser. Dersom for eksempel fosteret jevnlig utsettes for høye doser alkohol, kan det endre både dannelsen av nerveceller, migrasjonsprosessen og dannelsen av nevronale nettverk.

HJERNENS OPPBYGNING OG FUNKSJON

Anne-Grethe Urnes

Innledning

Helt fram til første halvdel av 1900-tallet hadde vi svært begrenset kunnskap om hjernens oppbygning, og vi visste lite om hjernens funksjon. Mye av kunnskapen som ble etablert i løpet av 1900-tallet, kom fra dyrestudier og studier av funksjonsutfall hos mennesker som hadde fått sykdom eller skade lokalisert til et bestemt område av hjernen. Gjennom de siste tiårenes utvikling av moderne teknikker for billedframstilling av hjernen har vi fått innblikk i både strukturen på hjernevevet i ulike områder av hjernen og hvordan hjernen arbeider (eksempelvis MR og fMRI, se kapittel 12). Vi vet i dag mye om hvilke områder eller nettverk i hjernen som er involvert under arbeid med ulike typer oppgaver og inntrykk

Gjennom denne kunnskapen har tyngdepunktet beveget seg fra en lokalisasjonstenkning («hvor sitter skaden?») til studier av nettverkene i hjernen og hvordan samarbeid mellom ulike hjerneområder påvirkes ved en forstyrrelse eller skade.

I dette kapitlet gis en kort oversikt over noen av de sentrale strukturene i menneskets sentrale nervesystem (CNS) som er nær knyttet til hvordan mennesker oppfatter, tenker og handler. Hjernen er ekstremt kompleks både i oppbygning og virkemåte. Gjennomgangen er en betydelig forenklet framstilling og er ment som et bakteppe for andre kapitler i boken. Interesserte lesere anbefales å gå til referanselitteraturen. Per Brodal (2013) gir en god og nyansert oversikt over hele dette komplekse feltet.

Nervesystemets byggesteiner

Nervesystemer er bygd opp av nerveceller og gliaceller. Nervecellene tar imot og leder elektriske signaler (informasjon), mens gliacellene særlig antas å ha en hjelpende funksjon ved å sørge for et stabilt miljø rundt nervecellene og hjelpe til ved eventuelle skader. Gliacellene er også sentrale for isolasjonen av nervecelleutløperne slik at deres ledningshastighet øker (myeliniseringsprosessen).

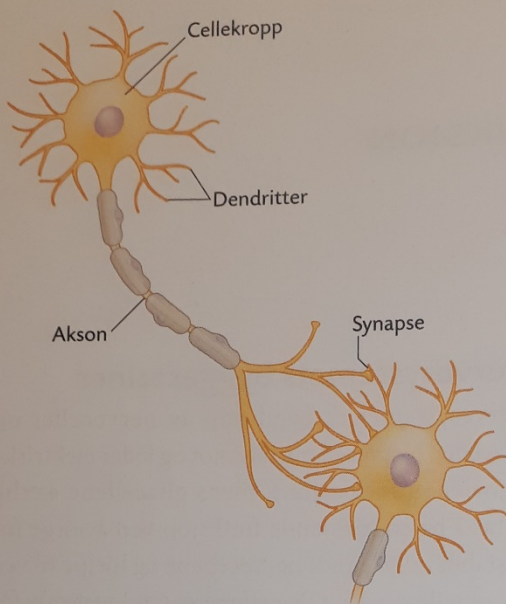
Nervecellen (nevronet) og overføring av informasjon

Nervecellen består av et cellelegeme med en kjerne og to typer utløpere: *dendritter* og *aksoner*. Dendrittene tar imot signaler fra andre nerveceller via aksoner. Aksonene sender signaler ut fra nervecellen til andre nerveceller (se figur 1.1).

De fleste nervecellene har mange dendritter, og hver dendritt forgrener seg også videre. Dermed blir det en stor overflate – som en trekrone – der mange dendritter kan ta imot signaler fra andre nerveceller. Både nervecellene selv og dendrittene har grålig farge. Derfor betegnes områdene med mange nevroner for *grå substans*.

Den andre typen utløper, aksonet (nervefiber), er bygd for å lede signaler over lange avstander. Hver celle har bare ett akson, men aksonet forgrener seg sterkt, slik at ett nevron kan påvirke opp til flere tusen andre.

Aksoner ligger ofte sammen i bunter og kalles da en *bane*. Isolasjonsmaterialet myelin legger seg gjennom utviklingen rundt aksonene. Myelin har



Figur 1.1 Nervecellen.

høyt fettinnhold med hvit farge, derfor kalles dette ledningsnettets også *hvit substans*. Endeforgreningene av et akson har små kølleformede oppsvulminger som kalles *boutoner* («knapper», av fransk *bouton*) eller *nerveterminaler*. Boutonen legger seg tett inntil en annen nervecelle, oftest på en dendritt eller cellelegemet, og dette kontaktstedet betegnes *synapse*. Det er ved synapsen at informasjon gis fra én nervecelle til en annen. Den elektriske impulsen overføres indirekte ved at et stoff som påvirker cellen, blir frigjort. Dette stoffet kalles *nevrotmitter*. Det er lagret i små blærer i nerveterminalene. Transmitteren passerer da den synaptiske spalten og fester seg til reseptorer (mottakere) på nabocellen. I ulike deler av nervesystemet er det forskjellige typer transmittersubstanser, og reseptorene er tilpasset en type transmittersubstans. Samtidig kan en nervecelle påvirkes av flere typer transmittersubstanser. En del synapser er rettet mot å aktivere nevronet og sende beskjed videre, og disse kalles *stimulerende* (*eksitatoriske*) *synapser*. Noen av de vanligste transmittersubstanser som gir slik stimulering, er transmitterne glutamat og acetylcholin.

Det finnes også hemmende (*inhibitoriske*) synapser. I stedet for å lage nye nerveimpulser

hindrer disse synapsene neste nervecelle i å lage nerveimpulser. Ofte er det den hemmende transmittersubstansen GABA (*gamma-aminobutyric acid*; *gammaaminosmørsyre*) som er virksom her. Slike hemmende synapser er viktig for å kontrollere at ikke nerveceller blir overaktivert. Det som bestemmer om en nervecelle skal aktiveres eller ikke, er summen av de aktiverende og hemmende signalene den får. GABA-reseptorene påvirkes både av legemidler og alkohol (se kapittel 33).

Ledningshastigheten for informasjonsstrømmen i aksonene er forskjellig og er bestemt av aksonets tykkelse og grad av myelinisering. Hastigheten kan variere fra 1 til 120 meter per sekund.

Summen av de kvalitative og kvantitative trekkene i de nevronale byggesteinene gir en betydelig fleksibilitet og stor mulighet til finjusteringer i nervesystemet. Ved medikamentell behandling griper en inn i balansen mellom disse systemene, idet medikamenter alltid på en eller annen måte påvirker synapsefunksjonen. Fordi de fleste transmittorer brukes mange steder i nervesystemet og deltar i ulike oppgaver, vil en ofte se at manipuleringen av transmittorer framkaller mangartede virkninger, noe som gjør det vanskelig å unngå bivirkninger. Videre vil endring av én transmitters aktivitet nesten alltid medføre endring av flere andre transmitters aktivitet.

Sentralnervesystemets hinner og ventrikkelsystem

Hjernen og ryggmargen ligger godt beskyttet innenfor benstrukturer. I tillegg er de omgitt av tre bindevevshinner, *meningene*. Innerst og tett festet mot hjernen ligger den svært tynne hinnen *pia*, og ytterst mot innsiden av skallen og virvelkanalen ligger *dura*, som er tykkere og senete. Den tredje hinnen, *arachnoidea*, er en tynn og uregelmessig hinne festet til *dura*. Rommet mellom hinnene er fylt med cerebrospinalvæske, noe som innebærer at hjernen nesten flyter. Dette bidrar til å beskytte hjernen mot støt og mekaniske påkjenninger. Hjernens ventrikkelsystem består av et sammenhengende hulrom som går gjennom hjernestammen og

inni storhjernens hjernehalvdeler. Dette hulrommet har fire utvidelser som kalles *ventrikler*. Inne i storhjernens hjernehalvdeler ligger de største ventriklene, de to laterale ventriklene (sideventriklene), og under, dypere ned, ligger tredje og fjerde ventrikel, alle med kanaler mellom.

Cerebrospinalvæsken beskytter og fungerer som en støtpute for hjernen. I tillegg bidrar den til å hindre opphopning av skadelige stoffer i nervevevet og er en mulig transportvei for hormoner og signalstoffer. Det dannes ca. en halv liter cerebrospinalvæske hver dag, mens det samlede volumet i hulrommene er langt mindre enn dette. Det betyr at væsken i hulrommene fornyes flere ganger i døgnet, og det er nødvendig med gjennomstrømming og avløpsveier. Hydrocephalus (vannhode) er en tilstand med økt mengde cerebrospinalvæske og utvidede ventrikler som bunner i mangel på balanse mellom produksjon og absorpsjon av cerebrospinalvæsken (se kapittel 21).

Hjernen er vår radar og hele kroppens kommandosentral

Nervesystemet består av storhjernen, lillehjernen, ryggmargen og nervene samt spesialiserte nerveender og sanseorganer. Sanseorganene og nerveendene registrerer hva som skjer rundt oss og i kroppen, og sender informasjonen til sentralnervesystemet. En del informasjon fra kroppens indre organer (via det autonome nervesystemet) er vi oss ikke bevisst.

I storhjernen kommer mange av sanseintrykkene fra omgivelser og kroppens overflate til bevisst opplevelse, og vi opplever tenkning i samspill med hukommelse og følelser. I hjernen skjer prosesser som understøtter videre planlegging og iversetning av handlinger og viljestyrte bevegelser.

Storhjernen

Hjernen består av flere deler, og den største delen er *storbhernen*.

Oppbygningen av menneskehjernen har sterke likhetstrekk med andre pattedyrhjerner oppbyg-

ning, men er betydelig mer komplisert enn noen andre arters hjerne. Sammenliknet med dyrene har mennesket svært stor hjerne i forhold til kroppen. Hos et voksent menneske veier hjernen i gjennomsnitt 1300 gram. En stor hund eller sjimpanse har hjerner som veier henholdsvis ca. 130 og 400 gram. Det er spesielt storhjernen (*cerebrum*), og særlig storhjernebarken som er betydelig større hos mennesker enn hos dyr.

Hjernebarken (*cortex*)

Under hjernens utvikling i fosterlivet har hjernebarken foldet seg. Dette har medført en sterk økning i hjernens overflate og mengde hjernebark. Foldene gjør at man på overflaten ser furer (*sulci*) og vindinger (*gyri*). Den furete overflaten av hjernen hos mennesket og en del høyerestående pattedyr gjør at hjernebarken utgjør en langt større andel av sentralnervesystemet enn hos laverestående dyr. Hvis man bretter ut hjernebarken, dekker den et område på hele 200 kvadratmeter. Selve hjernebarken har en tykkelse på 1,5–4,5 mm og inneholder ca. 20 milliarder nevroner. I hjernebarken ses seks ulike lag. Det øverste laget, lag 1, har få celler og flest dendritter, mens lag 2 og 4 mest har celler som tar imot informasjon (afferente fibre), for eksempel sanseinformasjon. Lag 4 er derfor spesielt tykt i sensoriske barkområder. Lag 3 og 5 har utgående (efferente) fibre, som sender aksoner til hjernestammen og ryggmargens motoriske celler. Dette laget er derfor særlig tykt i motorisk barkområde foran sentralfuren (*sulcus centralis*). Lag 6 har færre celler og sender aksoner til talamus, som derved også styres av hjernebarken. Dette er det innerste laget, og det ligger ned mot hvit substans, som består av gliaceller og myeliniserte nervefibre som forbinder ulike områder i hjernen med hverandre. Nesten all impulstrafikk til hjernebarken fra lavere nivåer blir synaptisk avbrutt i talamus, som på et vis er med på å sile informasjonsstrømmen.

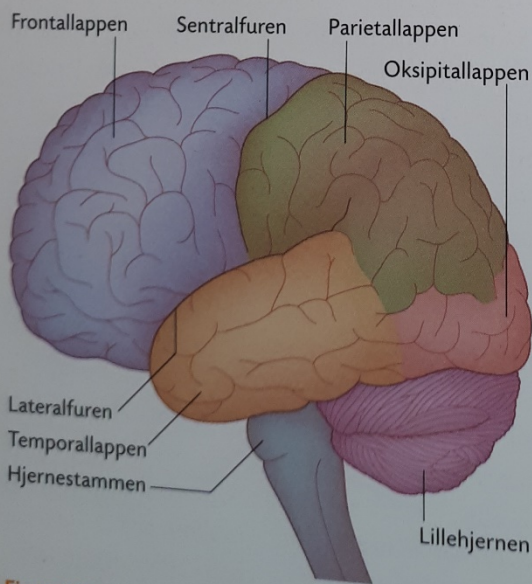
I hele hjernebarken ses internevroner, som sørger for samarbeid både mellom lagene og mellom celler i samme lag. Hvert nevron i hjernebarken er forbundet med flere tusen andre nevro-

ner og mottar minst 10 000 synapser. De enkelte lagene er altså ikke uavhengige enheter. Mengden forbindelser og forbindelsesmuligheter illustrerer menneskets potensielle kapasitet til fleksibilitet og bearbeiding av informasjon. Det aller meste av menneskets hjernebark er det vi kaller *assosiasjonsområder*. Disse er av særlig betydning for høyere og mer komplekse mentale funksjoner. Dette vil utdypes senere i kapitlet. I det følgende er det grovkissert noen hovedtrekk.

De dypeste furene og spaltene deler hver av storhjernehalvdelene i fire lapper. Hjernebarken er beskrevet med fire områder basert både på arkitektoniske særtrekk og oppgaver: *frontallappen*, *parietallappen*, *okspitallappen* og *temporallappen* (se figur 1.2).

Det er i realiteten ikke så klare avgrensninger av de ulike hjerneområdene som figuren viser. De funksjonene de ulike områdene understøtter, inngår i funksjonelle systemer, der flere kortikale og subkortikale områder er med.

Insula er kalt den femte hjernelappen og deltar i en rekke kortikale nettverk. Den ligger dypt inne i spalten som skiller temporallappen fra parietallappen og frontallappen, lateralfuren (*sulcus lateralis*). Aktivitetsendringer i insula er funnet i forbindelse med opplevelser i indre organer, emosjoner og aspekter av kroppsupplevelser.



Figur 1.2 Hjernens lapper og viktige spalter.

Områder for primære motoriske og sensoriske funksjoner

I frontallappen foran *sentralfuren* ligger det motoriske barkområdet. Dette området har særlig betydning for viljestyrte bevegelser. Skader her vil kunne gi lammelser på motsatt kroppside. Det er fordi fibre fra krysser midtlinjen på sin vei ned til hjernestammen. De motoriske funksjonene er også under innflytelse av lillehjernen, basalgangliene og sanseintrykk. Bak sentralfuren ligger det somatosensoriske barkområdet i parietallappen. Her kommer signaler fra hud, muskler og ledd inn. Også disse banene er krysset, slik at skader her vil medføre tap av førlighet i motsatt side av kroppen.

Hjernebarken i visuell cortex tar imot synsinformasjon og ligger i okspitallappen. Signalene som kommer fra cochlea (sneglehuset) i det indre øret, kommer til hørselsbarken (auditiv cortex) i temporallappen.

Spilnevroner

I flere hjerneområder har en oppdaget spesielle celler som kalles *spilnevroner*, fordi de blir aktive både ved utførelse av målrettede handlinger og ved observasjon av andre som utfører de samme handlingene. Det var italieneren Giacomo Rizzolatti som på 1990-tallet oppdaget dette fenomenet ved studier av aper (Rizzolatti & Craighero, 2004). Senere har fMRI-studier vist at spilnevroner også finnes hos mennesker. Det er rimelig å anta at spilnevrons systemer er grunnleggende for læring ved å imitere. Ved observasjon får hjernen drevet «tørrtrening» som et grunnlag for senere bruk. Systemet underletter forståelsen av hva andre gjør. Spilnevrons systemer kan også ha en betydning for sosial kognisjon (se kapittel 7 og 25).

Hjernebarkens oppgaver og assosiasjonsområder

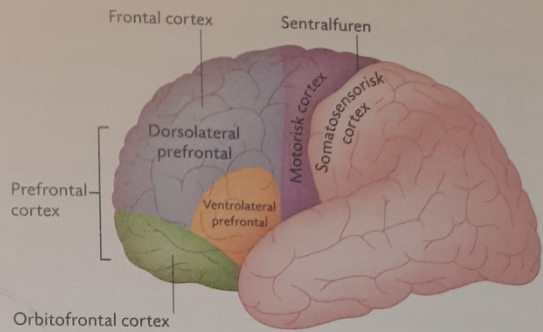
Vi har nå sett på de primære mottakerområdene for sanseintrykkene (prosjeksjonsområdene). Nær tilknyttet disse er sekundære mottakerområdene (tolkningsområder), og disse igjen er omgitt av assosiasjonsområder, der ulike typer

sanseinformasjon bearbeides og integreres. Evnen til å integrere sanseinformasjon er avhengig av at informasjonen er meningsfull for barnet og må læres i tidlige barneår.

Assosiasjonsområder er ikke et presist definert og avgrenset begrep, men anvendes om de områdene som verken mottar direkte sanseinformasjon eller er knyttet direkte til de subkortikale motoriske cellegruppene. Sammenlikner vi hjernen til et menneske med hjernen til en ape, ser vi at det særlig er assosiasjonsområdene som har økt voldsomt i størrelse. Disse områdene har med høyere kognitive funksjoner å gjøre. Det er stor grad av konvergens og divergens av assosiasjonsforbindelser og oppkopling til subkortikale kjerner. Flere områder, ofte langt fra hverandre, kan delta i den samme oppgaven, og ofte vil et område ha betydning og være i funksjon ved mer enn en oppgave.

Mentale forestillinger – som å se for seg hendelser eller tenke på ulike handlinger – aktiverer de samme områder av cortex som når man faktisk utfører eller ser bestemte situasjoner.

Den fremre delen av frontallappene kalles *prefrontal cortex* (PFC). Den ligger foran de motoriske områdene og utgjør nærmere en tredjedel av hjernens volum (se figur 1.3). Disse områdene i hjernen er særegent store hos mennesket. Prefrontal cortex mottar informasjon fra alle sansemodaliteter (syn, hørsel, smak, lukt, berøring, likevekt, smerte) samt om emosjoner og motivasjon. En omfattende forskning har avdekket at disse områdene er sentrale for å understøtte det vi overordnet kaller *eksekutive funksjoner* (se kapittel 6). Prefrontal cortex er et sentralt område for både å planlegge, kunne holde flere perspektiver samtidig (arbeidsminne) og sette i gang med målrettede handlinger for å gjennomføre planene. Det ser ut til at de dorsolaterale delene av prefrontal cortex (DLPFC) er særlig viktige for dette, mens de ventrolaterale områdene (VLPFC) har betydning for blant annet oppdatering av innholdet i arbeidshukommelsen. Orbitofrontal cortex (OFC) utgjør i stor grad sentrale områder for impuls kontroll og regulering av emosjoner. Evnen til å forestille seg andre menneskers sinns-



Figur 1.3 Sentrale delområder i prefrontal cortex. Omarbeidet fra Gazzaniga, Ivry & Mangun (2014).

tilstand og intensjoner er også avhengig av prefrontal cortex i samspill med andre områder. Her er de ventromediale delene av prefrontal cortex (VMPFC) mer involvert enn de ventrolaterale. Oppsummert er intakte og velfungerende prefrontale områder viktige for å styre og regulere atferd og følelser, for at vi skal fungere smidig og fleksibelt. Funksjonene i dette hjerneområdet er avgjørende både for vår tilpasning til våre livsbetingelser og for vårt sosiale liv.

Vi skal senere i boken se at prefrontal cortex utgjør et særlig viktig område for forståelse av mange kliniske tilstandsbilder.

Prefrontal cortex har, slik det nå har blitt understreket, en overordnet funksjon. Den fungerer som den «utøvende makt» og understøtter eksekutive funksjoner (se kapittel 6). Den inngår i tett samspill med områdene bak sentralfuren, særlig assosiasjonsområdene i bakre parietal-cortex, som integrerer visuell og somatosensorisk informasjon og er viktig for romlig orientering.

Temporallappens assosiasjonsområder på ned-siden av hørselsbarken har oppgaver som er spesielt knyttet til integrering av auditiv og visuell informasjon. Her er det å identifisere objekter sentralt. De mediale delene av temporallappene er knyttet til deklarativ hukommelse (se avsnittet om hippocampus senere i kapitlet).

Forstyrrelser i assosiasjonsområdene kan medføre vansker med mer komplekse aspekter av sansning og motorikk. *Agnosi* betegner vansker med å kjenne igjen gjenstander uten at det er sanse-

messige eller intellektuelle problemer. Ved *prosopagnosi* er evnen til å gjenkjenne ansikter rammet. *Apraksi* medfører vansker med å utføre ulike praktiske handlinger som å kle på seg eller kopiere en tegning. Begrepene er kommet fra erfaringene med skader hos voksne, men en kan se liknende vansker hos enkelte barn med nevroutviklingsforstyrrelser. Da anvendes begrepet *dyspraksi*. Det er vanskelig både å lære og å utføre komplekse praktiske handlinger.

Sentrale områder og nettverk knyttet til prefrontal cortex

Hjernen arbeider i nettverk. Mange nettverk er identifisert, og de kan beskrives på noe ulike måter i ulike fagmiljøer. Her skal de fire mest omtalte nettverkene nevnes.

Det *frontoparietale nettverket* kalles også stikkordsmessig *utførelsesnettverket* (*the central executive network*). Her forbindes dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) med det bakre parietale området, og det å holde og bearbeide informasjon i arbeidshukommelsen er understøttet her. Dorsolaterale deler av prefrontal cortex understøtter de kognitive aspektene av eksekutive funksjoner, også kalt *kalde funksjoner* (i motsetning til de emosjonelle aspektene, som omtales som *varme funksjoner*). De kalde funksjonene bidrar også til å sortere hvilken informasjon som får adgang til arbeidshukommelsen (selektiv oppmerksomhet). Området er involvert i strategiske sider ved hukommelsen og evnen til å bedømme egen hukommelsesfunksjon (metahukommelse). Ved *svake funksjoner* i området ses oppmerksomhetsvansker, avledbarhet og vansker med planlegging, organisering og struktur.

Det andre grunnleggende nettverket kalles «default mode network» og betegnes også mange steder som «hvilenettverket». Betegnelsen «introspeksjonsnettverket» er også mye brukt om dette nettverket med bakgrunn i de funksjonene nettverket ser ut til å understøtte. Dette nettverket består av ventromedial prefrontal cortex (VMPFC), bakre deler av parietalcortex og gyrus cinguli (GC), som ligger dypere og på medialsiden

av hver hjernehalvdel. Det er mest aktivt når vi ikke mottar ytre stimuli eller utfører aktiviteter. Straks vi starter aktivitet, dabber det av, og det frontoparietale nettverket slår seg på. Refleksjoner over moralske spørsmål, dagdrømmer, grublinger over våre egne feil og framtidsspekuleringer er knyttet til aktivitet i introspeksjonsnettverket. Selvrefleksjon og tenkning rundt egne og andres mentale tilstander er også beskrevet å være understøttet i dette nettverket.

Et tredje viktig nettverk kalles *sentralt viktighetsnettverk* (*saliency network*). Her bindes områder i prefrontal cortex til insula og gyrus cinguli. Dette nettverket har som oppgave å se etter viktige stimuli og hendelser og finne hvilke oppgaver hjernen bør prioritere å jobbe med. Det ser ut til at dette nettverket har en viktig styringsfunksjon over hvilket av de to andre funksjonelle nettverkene som bør være aktivt. Det ser med andre ord ut til å ha en viktig rolle i styring av atferden og de mentale prosessene. Det er mange forbindelser mellom disse tre nettverkene, og det er foreslått at en smidig funksjon mellom dem er avgjørende for god funksjon i de øvrige nettverkene.

Det fjerde nettverket er et *motivasjons- og belønningsnettverk*. De mesolimbiske dopaminerge motivasjons- og belønningsbanene går fra områder i hjernestammen til nucleus accumbens (NAc) og framover mot prefrontal cortex (se figur 33.1). Banene er viktige for overlevelse og er sentrale for motivasjon og lystopplevelser (se kapittel 3 og 33). Når vi trøster et gråtende barn, og ved utsikt til å få mat når vi er sultne, utskilles dopamin i disse banene, og vi får en tilfredsstillende lystopplevelse. Vi motiveres til å gjøre det som trengs for å opprettholde liv.

Inhibisjon er en viktig mental funksjon som ikke lett lar seg plassere innen et nettverk. Inhibisjon dreier seg om kontroll av tanker, handlinger/impulser og følelser. På kognitivt nivå handler det om å hemme forstyrrende stimuli. Emosjonell kontroll er særlig forbundet med ventromedial prefrontal funksjon. Atferdsinhibisjon dreier seg om å hemme en handling som er upassende i en situasjon. Det kan bli vanskelig å tilpasse seg fleksibelt til endrede krav i omgivelsene.

Det er vist forstyrrelser i de beskrevne nettverkene ved mange kliniske tilstandsbilder.

Arbeidsdeling mellom hjernehalvdelene

En vanlig inndeling av storhjernen er i høyre og venstre hjernehalvdel (hemisfære). De ser ut som speilbilder av hverandre. Når det gjelder sanseinntrykk og bevegelser, har de to hjernehalvdelene ansvar for hver sin kroppshalvdel: Høyre hjernehalvdel «styrer» motorisk og sensorisk venstre side av kroppen, mens venstre hjernehalvdel «styrer» høyre kroppshalvdel. Mange mentale og kognitive funksjoner krever et tett samarbeid mellom hjernehalvdelene, men trass i dette er de to hjernehalvdelene i noen grad spesialisert for bearbeiding av hver sine typer informasjon.

Hjernehalvdelene understøtter og er spesialisert for ulike funksjoner, men samarbeider tett og anvender hverandres spesialområder der dette er påkrevd. Sentralt for dette samarbeidet er informasjonsflyten over hjernebroen (*corpus callosum*), som beskrives senere. Begge hjernehalvdeler er i stand til å utføre de fleste oppgaver, forskjellene dreier seg om hvor effektivt dette gjøres. Venstre hjernehalvdel er mer egnet for analyse og logisk tenkning knyttet til verbalspråk og tall. Den er egnet for bearbeiding av *sekvensiell* informasjon og detaljanalyse. Høyre hjernehalvdel fungerer bedre hos de fleste mennesker når det gjelder romoppfatning og oppfatning av kompliserte mønstre, kart og tegninger. Den er best egnet til å ta inn *simultan* informasjon og større, helhetlige trekk, som når vi kommer til et nytt sted og må orientere oss i nye og ukjente situasjoner. Den er også best på å vurdere avstand. De nonverbale aspektene av språkfunksjonen, som oppfatning av setningsmelodi (*prosodi*), ser ut til å være understøttet av høyre hjernehalvdel. Pasienter med høyresidige hjerneskader kan ha intakt språk, men kan mangle evnen til å fange opp det emosjonelle budskapet i andres tale. De kan ha vansker med å vurdere om andre er sinte eller glade, og få et stort sosialt funksjonsproblem.

Ansiktsgjenkjenning ser ut til å kunne være en evolusjonært prioritert funksjon i hjernen, og en

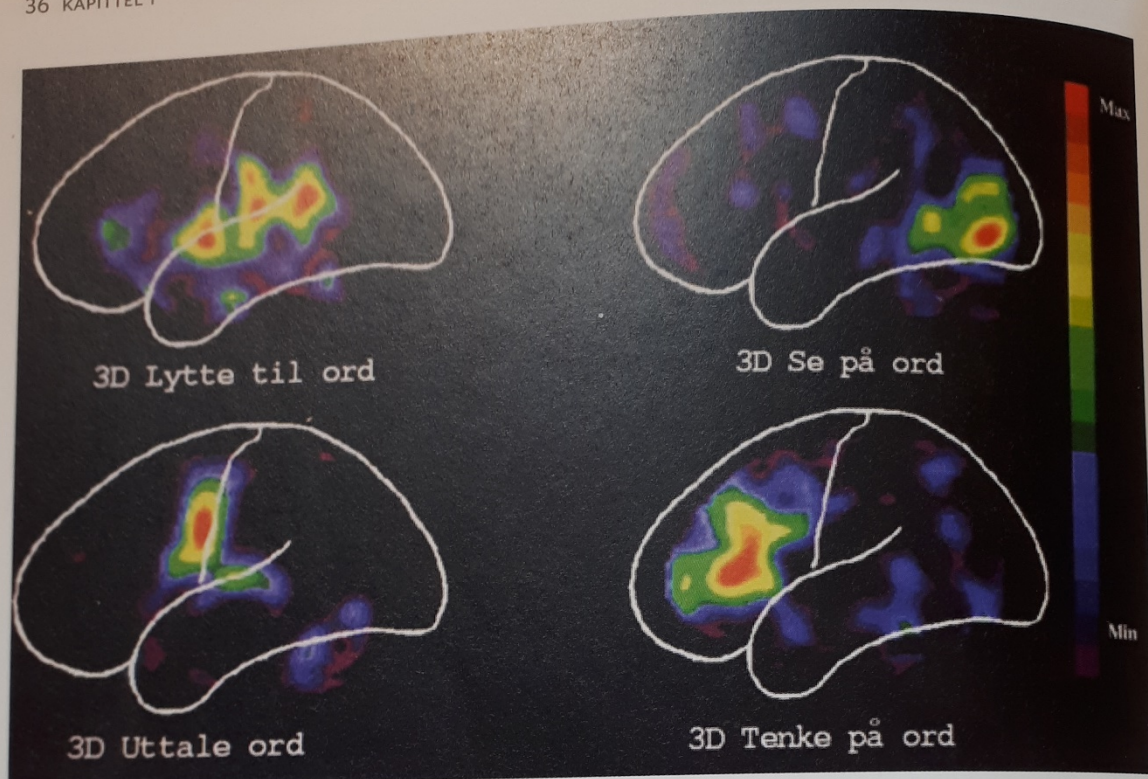
har identifisert et område i gyrus fusiformis, kalt *fusiform face area* (FFA), bilateralt, som ser ut til å være spesialisert på å gjenkjenne ansikter. Området ligger på undersiden av temporallappen, rett foran oksipitallappen. En har sett at pasienter med skader i dette området ikke mestrer å gjenkjenne ansiktet til de nærmeste i sin familie, mens de kan oppfatte de emosjonelle uttrykkene i ansiktene, kjenne stemmen og andre særtrekk. Tilstanden kalles *prosopagnosi*, og en kan også få slike vansker med bakgrunn i en nevroutviklingsforstyrrelse.

Venstre hjernehalvdel er best på bearbeiding av språk. At språkfunksjonen i stor grad er knyttet til venstre hjernehalvdel betegnes som *hemisfæredominans*. En har med nyere metoder sett at det er aktivitet mange steder i hjernen når vi bruker språket (se figur 1.4).

Når den ene hjernehalvdelen er viktigst for en oppgave, ses den som dominant for den funksjonen. 95 prosent av høyrehendte og 70 prosent av venstrehendte har venstresidig språkdominans. Den mest klare forskjellen i anatomi mellom høyre og venstre hjernehalvdel er å finne i nærheten av auditiv cortex. Den flaten i temporallappen som kalles *planum temporale*, er større på venstre enn høyre side hos 70 prosent av befolkningen, og denne sideforskjellen er til stedet før fødselen. En har studert dette områdets mulige betydning for dysleksi (se kapittel 27).

Språk

I dag vet vi at flere hjerneområder understøtter språkfunksjoner, men historisk og i klinisk arbeid med voksne er det særlig to områder som har vært studert. De tidligst kjente, viktige områdene for språk ligger i venstre hjernehalvdel. Det fremre området som ligger lateralt i frontallappen, er kalt *Brocas senter*, etter den franske legen Pierre Paul Broca (1824–1880), som i 1861 beskrev tap av taleevnen (afasi) hos pasienter med skader i dette området. Området har betydning for å forme ordene vi skal uttale, og understøtter det å sette sammen lyder til ord og således skape ordene når vi snakker. Ord kan settes sammen til setninger, og området kan også ha betydning for setnings-



Figur 1.4 Hjerneområder som er aktive ved bruk av ulike aspekter av språk.

melodi. Det bakre språkområdet som ligger i øvre del av temporallappen, kalles *Wernickes senter*, etter nevrologen Carl Wernicke (1848–1905), som beskrev pasienter med en annen type språkvansker, preget av manglende forståelse og mening i verbale ytringer (impresiv afasi). Dette bakre språkområdet understøtter avkodning og forståelse av ordene vi hører. Disse områdene vet vi har betydning ut fra den afasien vi ser hos voksne som rammes av skader der. Men vi vet lite om hvordan disse områdene bidrar til normal språkdannelse. Moderne bildeundersøkelser på friske mennesker viser at disse områdene er aktive ved språkoppgaver, men de er langt fra alene. Både når vi lytter til tale, og når vi snakker selv, er det stor aktivitet langt utenfor disse områdene. Aktiviteten i språkområdene når vi taler eller lytter, vekker assosiasjonsområder i hjernebarken i begge hjernehalvdeler, og det vekkes indre bilder av erfaringer som gjør at vi knytter personlige opplevelser og mening til ordene.

Hjernebjelken (*corpus callosum*)

Hjernebjelken er en kraftig kabel av hjernefibre (ca. 200 millioner) som fungerer som en informasjonsbro mellom hjernehalvdelen (hjernehalvdelen) og bidrar til en helhetlig, effektiv og integrert hjernefunksjon mellom de spesialiserte områdene (se figur 1.5).

Hjernestammen

Hjernestammen forbinder storhjernen med resten av sentralnervesystemet (se figur 1.2). Den fortsetter nedover gjennom et stort hull i skallen og kalles der ryggmargen. Hjernestammen består av nervefibre som overfører nerveimpulser til og fra storhjernen og resten av kroppen. Alle motoriske nervebaner fra sentralnervesystemet som går videre nedover i ryggmargen, vil krysse over midtlinjen i hjernestammen, slik at høyre kroppshalvdel blir styrt av venstre hjernehalvdel. For hjerne-nervenes del skjer ingen slik krysning av fibre.

Hjernestammen har nevronale nettverk som kontrollerer aktivering, våkenhet, respirasjon og sirkulasjon. Disse nettverkene kalles *retikulærsubstansen*, og navnet skriver seg fra det retikulære (latin: nettformede) aktiveringssystemet (RAS). RAS regulerer den elektriske grunnaktiviteten («arousal») i hjernebarken ved å fyre signaler som sendes til talamus og hjernebarkens sanseområder. Dette aktiveringssystemet er konstruert som et nervecellenettverk gjennom hele hjernestammen. Sanseinntrykk og signaler fra andre områder i hjernen går gjennom aktiveringssystemet og gir hjernebarken stimulering, slik at bevissthet om inntrykk skapes. Samtidig aktiveres det motoriske systemet. Impulser fra alle deler av nervesystemet besørger et visst nivå av kontinuerlig aktivitet i retikulærsubstansen. Når vår oppmerksomhet vekkes av en ny stimulus, er aktiveringssystemet alltid involvert. Systemet er helt sentralt for regulering av bevissthet, søvn og oppmerksomhet.

Hjernestammen har flere samlinger av hjerneceller (kjerner) med mange ulike oppgaver. Flere er omkoplingsstasjoner. En viktig struktur i det øverste område i hjernestammen er *talamus*. Talamus mottar sensoriske impulser fra hele kroppen og fordeler og «siler» dem til de ulike områdene av hjernebarken. Sentralt her at talamus tar imot alle sanseinntrykk. Bare nye og viktige sanseinntrykk slipper gjennom og kommer til bevisstheten. I denne forstand beskytter talamus bevisstheten mot å bli overveldet av sanseinntrykk. Sammen med retikulærsubstansen er denne strukturen med på kontroll av hjernebarkens grad av elektrisk aktivitet.

To cellegrupper har nær forbindelse med retikulærsubstansen eller det retikulære aktiveringssystemet (RAS) – *rafekjernene* og *locus coeruleus* (LC). Disse kjernene har modulerende virkninger og har fibre knyttet direkte til cortex. Rafekjernene har serotonerge nevroner (transmittersubstans: serotonin) og har en slags homeostatisk kontrollfunksjon av smerte, søvn, emosjoner, stemningsleie og motorisk aktivitetsnivå. Locus coeruleus består av noradrenerge nevroner (transmitter-

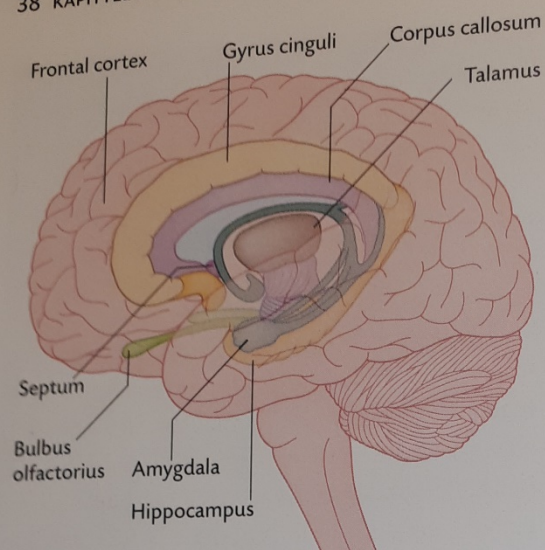
substans: noradrenalin) og har en regulerende funksjon på angst, stemning, oppmerksomhet og søvn. Denne kjernegruppen aktiveres ved stress, og via hypofysen settes stressreguleringssystemet i gang. Locus coeruleus ser ut til å være involvert ved utviklingen av posttraumatisk stressforstyrrelse (PTSD) (se kapittel 7). Den spiller også en rolle i dopamin- og belønningssystemet.

Hypotalamus er området under talamus og består av en rekke mindre kjernegrupper som regulerer mange av de automatiserte kroppsfunksjonene (regulering av temperatur, vannbalanse, matinntak og døgnrytme), delvis via det autonome nervesystemet. Kjernegruppene har en nær forbindelse til fremre del av hypofysen, som er en sentral struktur i hormonell regulering og stressregulering ved å produsere ACTH (adrenokortikotrop hormonn), et hormon som regulerer stresshormonet kortisol, som produseres i binyrebarken. Oksytocin er et viktig hormon som skilles ut fra hypotalamus både i blodbanene og i hjernen. Oksytocin fungerer som en transmitter i hjernen og understøtter sosial atferd som tilknytning, empati, og pardannelse (se kapittel 3). Hormonet blitt sett på og studert som et «sosialt» hormon. Man har også lurt på om hormonet kan spille en rolle for inklusjon og eksklusjon i sosiale grupper. Oksytocinet som går ut i blodbanene, er særlig viktig i det kvinnelige reproduksjonssystemet og øker ved melkeproduksjon og orgasme.

Hypotalamus er involvert i emosjonelle prosesser og bidrar i det emosjonelle uttrykket, men det er en annen struktur, amygdala, som er identifisert som den sentrale aktøren ved emosjoner (se kapittel 4).

Lillehjernen (*cerebellum*)

Bak – og i nær forbindelse med – hjernestammen er lillehjernen (*cerebellum*). Lillehjernen (se figur 1.2) er først og fremst viktig for å planlegge og utføre bevegelser og for balanse og likevekt. I likhet med basalgangliene hører denne strukturen til det motoriske systemet.



Figur 1.5 Oversikt over limbiske strukturer.

Lillehjernen er delt i tre hovedområder: archicerebellum, paleocerebellum og neocerebellum. *Archicerebellum* er den fylogenetisk eldste delen og er med på å regulere kroppens stilling og forflytning. Ved skader her ses mangelfull koordinering av bevegelser i sentrale deler av kroppen. Ved skader i *paleocerebellum* ses særlig stivhet i ekstremitetene, spesielt ved forflytning. *Neocerebellum*, den nyeste delen av lillehjernen, er spesielt utviklet hos mennesket sammenliknet med andre dyrearter. Den understøtter reguleringen av de ytre og finere bevegelser av armer og fingre. Ved skader ses både motoriske forstyrrelser og likevektsforstyrrelser. De motoriske forstyrrelsene dreier seg om hypotoni (reduisert muskeltonus), ataksi (dårlig koordinerte bevegelser), generell tremor (skjelving) og intensjonstremor, det vil si skjelving når du skal gjøre noe og nærmer deg målet for handlingen. Lillehjernerdisfunksjon kan også vise seg ved likevektsforstyrrelse, det vil si at kroppen ikke mestrer å reagere som den bør på beskjeder fra syn eller balanseorganer om at kroppen er ute av likevekt.

En del ny forskning peker mot at lillehjernen også kan spille en rolle for kognitive prosesser. Den kan se ut til å ha betydning for å oppfatte rytme og hastighet. Det ser ut til at den inngår i flere komplekse nevronale nettverk og kan være sentral i

læringsprosesser ved at den ser ut til å være viktig for raskt skifte av oppmerksomhet. Lillehjernen er sent utviklet og har dermed en lang sårbarhetsperiode for miljøpåvirkninger (se kapittel 2).

Limbske strukturer

Hos mennesket er de fylogenetisk eldste delene av hjernebarken fullstendig «overvokst» av de nyere delene (jf. cortex med seks lag). De eldste delene er enklere bygd, og mens den nyere cortex får sine inngående impulser fra talamus, får de eldre områdene i hjernen sine afferente (innkommende) forbindelser fra andre steder. Verken anatomisk eller funksjonelt er det et skarpt skille mellom neocortex og de eldre delene av hjernen. Funksjonelt er de høyere og komplekse funksjoner som bevisst tenkning, planlegging og problemløsning knyttet til neocortex, mens emosjoner, motivasjon og den følelsesmessige påvirkningen av atferd er avhengig av de eldre delene av hjernebarken. De subkortikale strukturer amygdala, hippocampus og nucleus accumbens (NAc) er her sentrale. Ved komplekse mentale funksjoner er det et smidig funksjonelt samspill mellom disse områdene.

Tradisjonelt er strukturerne gyrus cinguli, hippocampus, septumkjernene og amygdala beskrevet som det limbiske systemet, og populært er dette betegnet som *følelshjernen* (figur 1.5). Dette er en grov og forenklet reduksjonisme av den menneskelige komplekse hjernens anatomi og funksjon. Den amerikanske nevrologen Antonio Damasio har pekt på det konstruerte skillet mellom tanker og følelser (kognisjon og emosjon), og han spør retorisk hvorvidt det er mulig å ha tanker uten følelser og et sinn uten affekt.

Skillet mellom emosjon og kognisjon har fått sitt anatomiske motstykke i dualismen mellom det limbiske systemet og hjernebarken. De fleste av de limbiske strukturerne deltar i mange ulike prosesser, som bare delvis er kartlagt. Det vi vet, er at de ulike limbiske strukturerne har tallrike innbyrdes forbindelser og har et nært samarbeid med og påvirkning på de perifere somatiske, motoriske og autonome mekanismene. I dag er oppfatningen at følelser

ikke utelukkende oppstår i det limbiske system, at det i praksis er umulig å skille klart mellom følelser og tanker, og at det er hjernens funksjon totalt sett som skaper både tanker og følelser.

Amygdala og emosjoner

Amygdala ligger i temporallappen (tinninglappen). Hos mennesket er det en kompleks struktur med flere mindre kjerner, og den har særtrekk både med hensyn til transmittere og forbindelser. Amygdala inneholder et stort antall transmittere som blant annet er involvert ved betinget fryktreaksjon og psykisk stress.

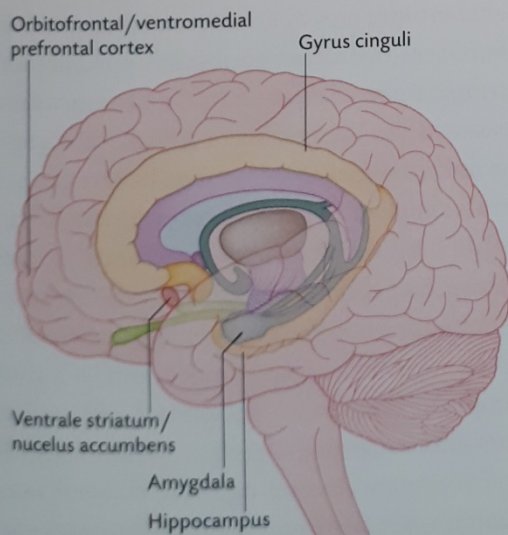
En gruppe kjerner i amygdala er først og fremst knyttet til lukteapparatet og hypothalamus og ser ut til å ha med de autonome funksjonene å gjøre. En annen gruppe kjerner har forbindelser mot talamus og neocortex (særlig prefrontal cortex). De ser ut til å påvirke og være under innflytelse av både frontal- og temporallappene.

Mye er uavklart ved amygdalas funksjon. Det som står fast, er at ingen områder i hjernen er så sterkt knyttet til emosjoner og emosjonelt betinget atferd. En helt sentral oppgave for amygdala ser ut til å være læring av sammenhenger mellom en stimulus og dens emosjonelle verdi, det vil si om noe oppleves som godt eller vondt, og om det har

en emosjonell mening for oss. Våre minner og erfaringer vil ha en emosjonell «farging» med ulik styrke for oss og dette har sentral betydning for at vi skal reagere adekvat i ulike livssituasjoner. Det er sentralt for overlevelse. Evnen til å bedømme andres ansiktsuttrykk og å vurdere følelsene som ligger i stemme og tonefall når andre snakker til oss, ser ut til å være tilknyttet amygdalafunksjoner. Ved dobbeltsidig ødeleggelse av amygdala har en sett at mennesker ikke mestrer å oppfatte om et ansikt eller en stemme uttrykker sinne eller frykt, mens evnen til å gjenkjenne ansikter er intakt. Både opplevelsen av frykt og sinne og det kroppslige uttrykket synes å være understøttet av funksjoner i amygdala.

Flere områder av hjernebarken viser aktivitetsendringer knyttet til emosjoner. Deler av prefrontal cortex viser endring i aktivitet, og en antar at det her skjer en integrering av sammensatte emosjonelle erfaringer for å kunne gi en hensiktsmessig reaksjon. Fremre del av gyrus cinguli er også sentral, og disse områdene ser i særlig grad ut til å være involvert i å overvåke og monitorere feil og konflikter. Når vi skal finne ut hva som er viktig og riktig for oss, er emosjonene som oppstår, en god veileder, som vi bruker både bevisst og ubevisst (se figur 1.6). Deler av dette området ser også ut til å ha med sosiale funksjoner å gjøre, knyttet til komplekse emosjoner som beundring og medfølelse. Området understøtter og integrerer både kognitive og emosjonelle prosesser. De «kalde» kognitive og de «varme» emosjonelle funksjonene integreres, emosjonene kommer under kontroll, og det kognitive blir styrt av det som gir personlig mening og er viktig for oss.

En vanlig modell for emosjonsregulering legger vekt på aktiviteten mellom «nedenfra og opp»-prosesser og «ovenfra og ned»-regulering. I modellen er amygdala involvert i å generere eller trigge emosjoner (nedenfra og opp), mens de gjensidige forbindelsene til ulike deler av frontallappene jobber for å regulere emosjonene, blant annet gjennom kognitive vurderinger (ovenfra og ned). Det er vist at økning i aktivitet i disse områdene korrelerer med en redusert nevronal aktivitet i



Figur 1.6 Oversikt over sentrale områder i hjernen som er involvert i regulering av emosjoner.

amygdala. Se kapittel 4 for videre utdyping av emosjonsregulering.

Hippocampusformasjonen og hukommelse
Hippocampus er en viktig struktur som ligger i temporallappen. Den likner på en sjøhest (derav navnet). Hippocampus har utstrakt toveis kommunikasjon, og dens funksjon innebærer behandling av store informasjonsmengder. Strukturen har forbindelser med forskjellige kortikale assosiasjonsområder samt direkte og indirekte forbindelser med andre limbiske strukturer, som amygdala. Funksjonen til hippocampus synes særlig å være knyttet til innlæring og hukommelse. Ved dobbeltsidige skader av hippocampus opptrer amnesi, det vil si et rent hukommelsesproblem. Nylæring er vanskelig, mens intelligensen ellers ikke er redusert.

Det ser ut til at hippocampus har betydning for innlæringen og for hukommelsen av det lærte innen en viss tid. Læring dreier seg om endret overføring av signaler mellom nevroner. Dette skjer gjennom styrkning av overføringen mellom eksisterende synapser ved økt produksjon av transmittersubstans. Denne prosessen er basis for *korttidshukommelse*. Under innlæringen skjer det en midlertidig lagring og bearbeiding i arbeidshukommelsen, og som vi tidligere har nevnt, er arbeidshukommelsen understøttet av de dorso-laterale delene av prefrontal cortex (DLPFC). Bearbeidingen av informasjonen i arbeidshukommelsen tar fra 10–20 sekunder og opp til flere minutter. Jo mer intenst og langvarig behandlingen skjer i arbeidsminnet, desto bedre blir stoffet overført til permanente lagre i langtidshukommelsen. Skal vi huske over lengre tid, skjer det nydannelser av dendritter og synapser. Dette gjelder *langtidshukommelsen*. Det skjer en strukturell endring i hjernen når en lærer. Etter innlæringen og ved langtidshukommelse er hukommelses-sporene trolig etablert i utbredte deler av hjernebarken. Imidlertid kan visse typer informasjon gå rett til langtidshukommelsen uten bearbeiding i arbeidsminnet. Dette dreier seg om såkalt emosjonelt betingede reflekser, som lagres i dype struk-

turer i amygdala, eller motoriske prosedyrer, som lagres i basalgangliene og lillehjernen.

Klinisk erfaring og forskning har konkludert med at det finnes flere hukommelsessystemer for langtidshukommelsen, med egne nevronale nettverk. Det er vanlig å skille mellom to former for langtidshukommelse. Den ene formen – *deklarativ* eller *eksplisitt hukommelse* – dreier seg om å huske hendelser og faktiske opplysninger, som hvilken film du så på kino i går, eller hvem du var sammen med. Deklarativ eller eksplisitt hukommelse har vi bevisst innsikt i. Vi er avhengig av en intakt medial temporallapp for bevisst å kunne hente ut minner. Eksplisitt hukommelse består av *semantisk hukommelse*, som inneholder faktakunnskap, som ordbetydning, grammatisk kunnskap og kunnskap om verden, og *episodisk hukommelse*, som inneholder personlige minner om hendelser bestemt til tid og sted. Episodiske minner inneholder stemninger og emosjoner. Et enkelt sosialt minne lagres som et persept eller en scene i temporallappen. Hippocampus aktiverer minnene i temporallappen og styrker forbindelsen mellom de forskjellige minnene i dette området.

Den eksplisitte hukommelsen er avhengig av hippocampus og de mediale deler av temporallappene. Eksplisitt hukommelse er rekonstruktiv. Vi husker kjernepunkter og setter sammen en mer eller mindre plausibel historie. Gjennom flere forbindelseslinjer påvirker også hippocampus nevrongrupper som er sentrale for emosjoner og motivasjon. Integreringen av semantiske og emosjonelle minner til personlige og levende minner fra hendelser i eget liv krever bevisst tilgang til både *prosedural* og *emosjonell implisitt hukommelse*. Det er den delen av langtidshukommelsen som kalles *nondeklarativ* eller *implisitt hukommelse*. Det er vanlig å snakke om to former for implisitt hukommelse. Den ene formen handler om å huske ferdigheter som å svømme, sykle, kle på seg, pusse tenner og om å etablere vaner og holdninger. Denne *prosedurale læringen* er avhengig av basalgangliene, cerebellum og deler av hjernebarken. Den andre typen implisitt læring består av læring etter sensorisk intensitet og kalles

emosjonell eller *bildemessig hukommelse*. Eksempler kan være kroppslige reaksjoner, emosjonelle reaksjoner og forestillinger. Emosjonelt materiale lagres delvis i nedre temporalgyrus og delvis i amygdalakjernerne. Ved autobiografisk hukommelse blir den episodiske og semantiske hukommelsen integrert sammen gjennom prosesser i amygdala og andre deler av prefrontal cortex. Hendelsene blir emosjonelt «fargelagt».

Mye av læringen i typiske undervisningssituasjoner skjer implisitt. Formidlingen av holdninger vil ofte skje ubevisst for så vel lærer som elev og er vanskelig å gjøre bevisst rede for. Det er spesielt vanskelig å huske detaljer ved emosjoner eller smerte. Kvalitative detaljer glemmes.

Barn under ca. 18 måneder er ikke i stand til å lagre hukommelsesbilder av eksplisitt type. Manglende eksplisitt hukommelse de to–fire første leveårene omtales som «barndommens amnesiperiode». Eksplisitt hukommelse modnes senere sammen med strukturer i hippocampus og cortex. Evnen til deklarativt minne er svak i hele småbarnsalderen, og den er først og fremst episodisk i konkret forstand. Små barn husker episodiske fragmenter, men kan ikke redegjøre for (narrative) sammenhenger i særlig grad. Dette øker sterkt i fire–seks-årsalderen, når de viktige elementene i språkutviklingen er på plass. Lagring i eksplisitt hukommelse krever forståelse. Ny informasjon lagres sammen med eksisterende informasjon av liknende type. Vi husker bedre informasjon som likner på det vi husker fra tidligere. Dette betyr at forskjellige personer vil huske forskjellige ting fra samme hendelse. Informasjon blir lagret mange steder i hukommelsesnettverket (etter tema). Jo større nettverket er, desto lettere blir det å legge inn ny informasjon. Når minner er etablert, er de ikke lenger avhengig av hippocampus. Når et minne vekkes opp igjen eller prates om, vil hukommelsessporene ulike steder i hjernebarken bli aktivert og påvirkelige, med mulighet for plastiske endringer. Fenomenet «falske minner» kan ses i lys av dette. I mange familier vil de samme hendelser kunne beskrives ulikt.

Studier av barn med tidlige skader av hippocampus gir oss kunnskap om denne strukturens

betydning i et utviklingsperspektiv: Tre barn fikk ødelagt hippocampus bilateralt ved fødsel og ved fire og ni år. Etterundersøkelse i ungdomsalder viste uttalt amnesi for ny innlæring. Og det som særlig var vanskelig, var den episodiske hukommelsen. Det var tydelig at den semantiske hukommelsen var ivaretatt av områder utenfor hippocampus. De unge hadde akademiske ferdigheter innen normalområdet og fulgte vanlig skoleopplegg. Observasjonene understøtter den gjennomgåtte modellen med de ulike hukommelsessystemene (Vargha-Khadem et al., 1997).

Hippocampus har også en sentral funksjon for at vi skal kunne orientere oss romlig. Nobelprisvinnerne Edvard og May-Britt Moser har funnet hvordan gitterceller (*grid neurons*) i området *area entorhinalis* danner et systematisk kart over omgivelsene. I hippocampus og tilstøtende områder prosesseres informasjon både om *hva* som foregår, og *hvor* det foregår. Dette kan gi en pekepinn om at læring og hukommelse kan være kontekstavhengig.

Det er holdepunkter for at stress med forhøyet kortisolnivå kan medføre tap av nevroner i hippocampus. Fenomenet viser hjernen som et interaktivt organ som endres i samspill med omgivelsene. Se kapittel 7 om hukommelse og traumatiske hendelser.

Det autonome nervesystemet

Det autonome nervesystemet er betegnelsen på de nevrongruppene og fiberforbindelsene som kontrollerer aktiviteten i blodkar, hjerte, innvoller og kjertler. Stor grad av selvstyring eller autonomi preger denne delen av nervesystemet. Bevegelsene i tarmen som understøtter fordøyelsen, sammen-trekkninger i hjertet og respirasjonen vår fungerer og styres vanligvis uten vår bevissthet. Det autonome nervesystemet har to ulike funksjonelle deler – det *sympatiske* og det *parasympatiske* systemet –, med ulik og til en viss grad motsatt effekt på de organene de er koplet til. Den sympatiske delen regulerer de ulike organenes grunnleggende aktivitet i kritiske og i emosjonelt sterke situasjoner (stress), som mobiliserer oss og krever en ekstra

innsats. Da øker hjerterefrekvensen, luftveiene utvides slik at respirasjonen øker, og tarmaktiviteten går ned. Ved frykt og sinne utvider øyets pupiller seg.

Det autonome nervesystemet kan også ses som et system for overlevelse. Det sympatiske systemet setter kroppen i beredskap til å mestre kamp eller flukt, mens det parasympatiske systemet kan bidra til en passivitet og «frysreaksjon», som også er et forsvar i farlige situasjoner. Dette ses også hos dyr.

Det parasympatiske systemet stimulerer først og fremst prosesser som bevarer organenes energikilder og sørger for hvile. Dette formidles av nervus vagus. Den parasympatiske delen av systemet har fibre begrenset til innvollsorganene og fungerer mer presist, mens den sympatiske delen er koplet til alle deler av kroppen. Nyere forskning om det parasympatiske nervesystem viser at det har en nyere ventral og en eldre dorsal vaguskjerne. Den nyere delen av vagusnerven er myelinisert, innerverer ansiktsmuskulatur og «bremser» forsvarsreaksjonene. Denne delen av det parasympatiske systemet gjør organismen klar for sosial kommunikasjon. Det parasympatiske systemet fremmer velvære og ro og gjør organismen klar for nærhet (prososial atferd) (se kapittel 4).

Reguleringen av det autonome nervesystemet skjer i et samspill mellom autonome sentre i hjernestammen, i hypothalamus under hjernebarken og i hjernebarken. Det ser ut til at de to delene i det autonome systemet har et finstemt samarbeid for hele tiden å optimalisere de ulike organers funksjon ut fra situasjonene som oppstår. Det sympatiske nervesystemet bruker som hovedregel adrenalin og noradrenalin som transmitter, mens det parasympatiske bruker acetylkolin.

Vi opplever stadig at emosjoner har virkninger på det sympatiske nervesystemet. For eksempel vil vi kunne rødme når vi føler at vi dummer oss ut, mens vi blir hvite i huden hvis vi blir livredde. Barn og også voksne kan ved redsel tisse eller bæsje på seg.

Nettverk som samordner fysiologiske prosesser ved sterke emosjoner, omfatter blant annet deler av hjernebarken, hypothalamus, amygdala, og retikulærsubstansen.

Kjønnsforskjeller i hjernens struktur

Flere studier har vist at menn gjennomsnittlig har større hjernevolum enn kvinner. En større meta-studie av kjønnsforskjeller i den typiske hjernen har avdekket at det er forskjeller i volum og nevrontetthet i områdene amygdala, hippocampus og insula (Ruigrok et al., 2014). Samtidig ser det ut til at det er større normalvariasjon i volumet i mange sentrale områder, som cortex, hvit substans, hippocampus og deler av basalgangliene. Dette har en funnet i en stor kohort med aldersspenn fra 3 til 21 år (Wierenga, Sexton, Laake, Giedd & Tamnes, 2017). Disse funnene går dermed langt utover at det er forskjeller i gjennomsnittsvolum generelt, og studiene gir flere nyanser i bildet. De kan etter hvert kanskje gi nye perspektiver på den betydelige kjønnsforskjellen i forekomst av de ulike nevrouviklingsforstyrrelsene.

Referanser og anbefalt litteratur

- Brodal, P. (2013). *Sentralnervesystemet* (5. utg.). Oslo: Universitetsforlaget.
- Damasio, A. (1999). *The feeling of what happens: Body and emotion in the making of consciousness*. Fort Worth, Texas, USA: Harcourt Brace.
- Fuster, J.M. (1989). *The prefrontal cortex: Anatomy, physiology and neuropsychology of the frontal lobe*. New York: Raven Press.
- Fuster, J.M. (2003). *Cortex and mind: Unifying cognition*. Oxford: Oxford University Press.
- Gazzaniga, M., Ivry, R.B. & Mangun, G.R. (2014). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind* (4. utg.). New York: Norton.
- Lindquist, K.A. & Barrett, L.F. (2012). A functional architecture of the human brain: emerging insights from the science of emotion. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(11), 533–540.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 169–192.
- Ruigrok, A.N., Salimi-Khorshidi, G., Lai, M.-C., Baron-Cohen, S., Lombardo, M.V., Tait, R.J. & Suckling, J. (2014). A meta-analysis of sex

differences in human brain structure.

Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 39, 34–50.

Uddin, L.Q. (2016). *Saliency network and the human brain*. New York: Elsevier.

Vargha-Khadem, F., Gadian, D. G., Watkins, K. E., Connelly, A., van Paesschen, W., & Mishkin, M.

(1997). Differential effects of early hippocampal pathology on episodic and semantic memory.

Science, 277(5324), 376–380.

Wierenga, L.M., Sexton, J.A., Laake, P., Giedd, J.N. & Tamnes, C.K. (2017). A key characteristic of sex

differences in the developing brain: greater variability in brain structure of boys than girls.

Cerebral Cortex, 1–11.

Nettsteder

Nettsteder med hjerneatlas og informasjon

Limbic System: Amygdala. *Neuroscience online:*

An electronic textbook for the neurosciences.

The University of Texas. Tilgjengelig på <http://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s4/chapter06.html>

Limbic System: Hippocampus. *Neuroscience online:*

An electronic textbook for the neurosciences.

The University of Texas. Tilgjengelig på <http://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s4/chapter05.html>

Cold Spring Harbor Laboratory (2016). 3D Brain (versjon 1.3.2) [mobilapp]. Tilgjengelig på Apples App Store for iOS.