



HJERNEN: DET MEST KOMPLEKSE ORGAN I KROPPEN

Om forfatteren
Af Kristian Sjøgren,
videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com

Om forskeren



Leif Østergaard er uddannet læge og astronom. Han arbejder både som professor og centerleder for Center for Funktionelt Integrativt Neurovidenskab (CFIN) ved Institut for Klinisk Medicin, Aarhus Universitet, og som overlæge ved Neuroradiologisk Afsnit, Røntgen og Skanning, Aarhus Universitetshospital.

Han forsker i årsagerne til alvorlige hjerne sygdomme, og hans forskningsresultater har medvirket til at forbedre diagnostik og behandling af blandt andet blodpropper i hjernen samt til en ny forståelse af demens.

I efteråret 2023 holdt han foredrag om hjernen i forbindelse med foredragsserien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab. Denne artikel er lavet i den anledning.

Hjernen er det mest komplekse organ i kroppen og udgangspunktet for alt det, som vi mennesker kan, vil og foretager os. Klinisk professor og hjerneforsker Leif Østergaard tager os med på en rejse fra de første opdagelser omkring hjernen til vores tilbøjelighed til at blive programmeret til at "indtage" alt fra alkohol til sociale medier.

Den 13. september 1848 var en ung mand på blot 25 år i færd med at udføre et farligt stykke arbejde i staten Vermont i USA. Phineas Gage, som han hed, arbejdede for et jernbaneselskab og var ved at sprænge klipper, så der kunne lægges togskiner til det, som senere fik navnet *Rutland & Burlington Railroad*. Det var en flot septemberdag, og mens Phineas Gage arbejdede sig gennem dagen, havde han ingen idé om, at det, som skulle ske lige inden fyraften, ville komme til at få betydning for hjerneforskning de næste 150 år.

Omkring klokken 16:30, da Phineas Gage masede krudt godt ned i et hul i en klippe med en medbragt jernstand, gik tingene galt. Hans

opmærksomhed blev tiltrukket af de mænd, som arbejdede bag ham, og han opdagede slet ikke, at han med jernstangen fik lavet en gnist, der antændte krudtet. Phineas Gage skulle til at råbe noget til mændene, men nåede det ikke, før jernstangen fløj ud af hans hænder, fortsatte ind gennem hans kind, ind bag det ene øje og ud på den anden side af kraniet. Den seks kilo tunge jernstang landede 30 meter væk, og Phineas Gage faldt om på Jorden.

Det særlige ved sagen om Phineas Gage er ikke, at han døde af at få en jernstang gennem hovedet. Det særlige er, at han på trods af et hul gennem kraniet og hjernen rent faktisk overlevede. Efter få minutter fik han med hjælp rejst sig op og kunne sidde oprejst i en vogn

under kørslen ind til den nærmeste by. Gennem hullet i kraniet kunne man se hjernen pulser.

Phineas Gage, der levede i noget nær bedste velgående i 12 år efter ulykken, var allerede dengang en interessant sag, et *medicinsk vidunder*, som man sagde, men fortsatte også med at være det i mange år derefter. Årsagen var den, at hans hjerneskade gav en hidtil ukendt indsigt i, hvilke dele af hjernen der fungerer hvordan, og hvad der sker, når de ikke gør. Med hjerneskaden ændrede Phineas Gage nemlig personlighed, hvilket skyldtes, at meget af den venstre frontallap var blevet ødelagt, da jernstangen passerede igennem kraniet og kom ud på den anden side. Han begyndte blandt andet at bande, kom med dumme bemærk-

ninger og blev hurtigt stresset. Fra at være en vellidt mand og en leder blandt sine kollegaer, blev han det stik modsatte.

»I hjerneforskningens tidligste dage lærte man det, som vi i dag ved om hjernen og dens funktion, ud fra sager som den med Phineas Gage, hvor vi pludselig kunne se, hvad der skete med folk, når bestemte dele af hjernen blev beskadiget. Så kunne man se, hvilke symptomer skaderne bragte med sig i form af både ændret personlighed, men også tab af syn, hørelse, smagssans, motoriske funktioner, hukommelse med videre. Alt det var ikke muligt at studere hos raske mennesker, hvor hjernen som bekendt er gemt godt af vejen inde i kraniet, men det kunne man studere i disse særlige tilfælde,« fortæller klinisk professor Leif Østergaard fra Institut for Klinisk Medicin ved Aarhus Universitet.

Hjernen fungerer gennem forbindelser mellem hjerneceller

Siden Phineas Gage kom ud for sin ulykke, har forskere gennem årtier bygget lag på lag på deres viden om, hvad hjernen er for en størrelse, og hvordan den fungerer – og vi er blevet meget klogere. For 120 år siden troede de fleste forskere blandt andet, at der blev dannet flere hjerneceller, når vi lærte noget nyt. En af disse forskere var Camillo Golgi, som opfandt en metode, så man for første gang kunne studere hjernens opbygning under et mikroskop. Metoden banede vejen for, at kollegaen Santiago Ramón y Cajal opdagede hjernecellerne og deres forbindelser i form af synapser. Han gættede også, at det ikke er selve nervecellerne, men disses synapser, der lagrer information. Disse opdagelser fik de to herrer i 1906 den første Nobelpris indenfor hjerneforskning for at opdage.

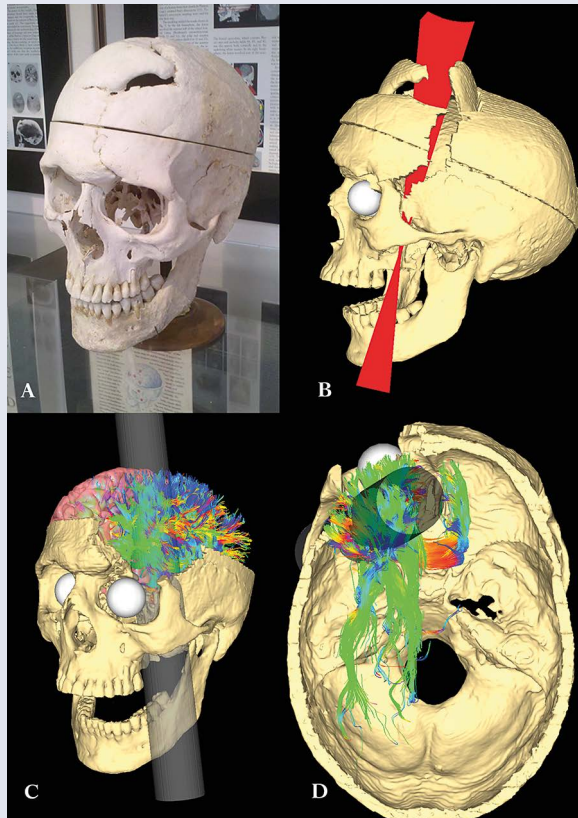
Synapser er helt centrale i hjernens funktion og i hjernecellernes kommunikation. Alle hjernens nerveceller taler til hinanden hele tiden. Nervecellerne taler

til hinanden via kemisk kontakt, og jo flere gange hjernens celler taler til hinanden, des stærkere bliver signalbåndet mellem dem. Det betyder, at hvis man som menneske gør det samme igen og igen – for eksempel som nærvæ-

rende journalist, der slår løs på sit tastatur hver eneste dag – bliver bevægelserne lagret i hjernen, så man ikke længere skal tænke over bevægelserne, men at de sker helt automatisk. Man plejer at sige, at “så ligger det på ryggraden”, men



Phineas Gage med den jernstang, som røg tværs gennem hans hjerne, dog uden at slå ham ihjel. Foto: Jack and Beverly Wilgus/CC BY-SA 3.0



Phineas Gages kranium findes i dag på Warren Anatomical Museum ved Harvard Medical School. De øvrige illustrationer viser computersimuleringer af jernstangens bane og de deraf følgende ødelæggelser af hjernen.

Fra Van Horn JD, et al (2012), PLoS ONE 7(5): e37454. doi:10.1371/journal.pone.0037454/CC BY-SA 2.0

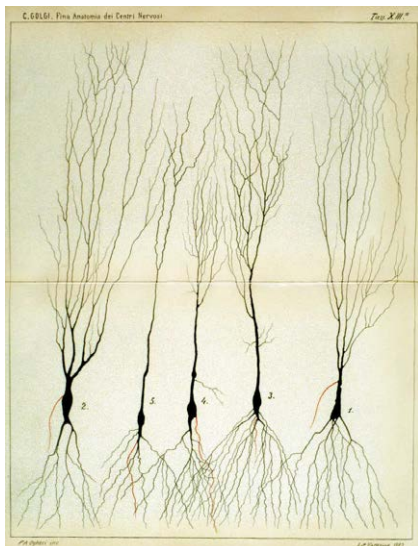
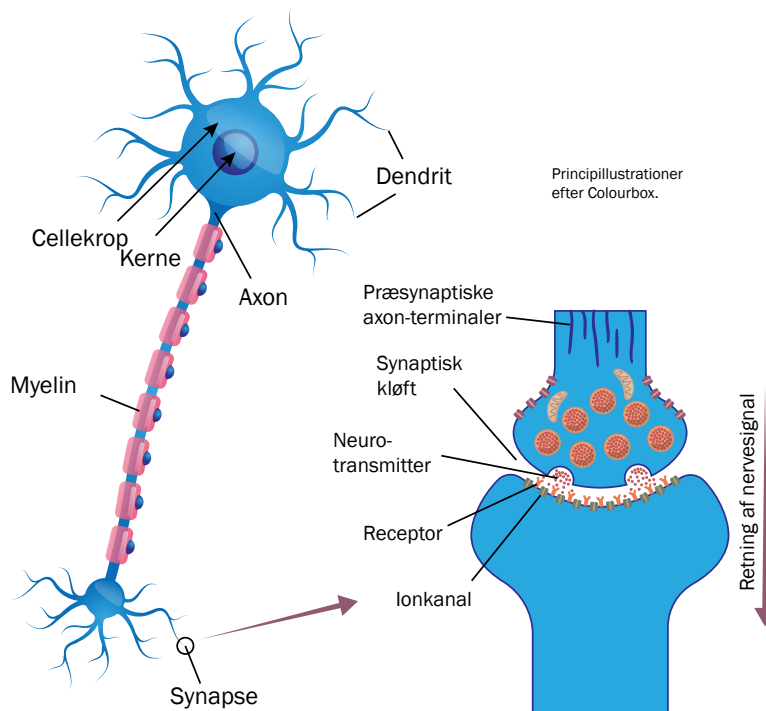


Illustration af nerveceller af Camillo Golgi (1843-1926).



Principillustrationer efter Colourbox.

Figuren viser den principielle opbygning af en hjernecelle (neuron) – her en såkaldt multipolær neuron, der har forbindelser til mange andre neuroner. Der er desuden zoomet ind på kontakten mellem to neuroner kaldet synapsen. Signaler i et neuron sker gennem et elektrisk signal, der udbreder sig gennem axonet, og i selve synapsen som et kemisk signal via signalstoffer (neurotransmittere), der formidler signalet til den næste nervecelle.

det er faktisk noget sludder, for det har intet med ryggraden – men derimod med hjernen – at gøre. Forbindelserne mellem hjernens celler, der udfører en given opgave, bliver stærkere og stærkere, indtil vi kan skrive, køre bil, læse, spille musik, tale forskellige sprog osv. helt ubevidst.

Alt sammen drejer sig om at lære noget nyt, og når man som menneske skal lære noget nyt, bruger vi indledningsvist den forreste del af hjernen, som er god til at afkode nye ting, som for eksempel nye bevægelser. Den forreste del af hjernen er da også på overarbejde, når man skal lære at spille klaver eller lære et nyt sprog. Efterhånden som tingene bliver gentaget og gentaget, bliver bevægelsen eller den nye viden dog cementeret i forbindelser mellem hjerneceller forskellige steder i hjernen. Derfor skal Messi ikke tænke over det, når han dribler forbi en modstander. Du skal heller ikke tænke over, at du læser denne tekst, og at den er på dansk. Det falder dig formentlig helt naturligt, og det skyldes, at du først har lært det

og siden lagret det i forbindelser mellem din hjernes celler.

Gode og dårlige vaner

»Det er enormt smart, at hjernen på den måde automatiserer tingene, så man kan udføre en hel masse, uden at skulle tænke over det først. Når vi først har fået tingene automatiseret, bliver det en vane, men det gælder altså både for gode og for dårlige vaner, og ligesom det er meget brugbart at tillægge sig gode vaner, kan de dårlige vaner være meget svære at komme af med igen, hvis de først er blevet etableret som forbindelser mellem hjernens celler,« forklarer Leif Østergaard.

Han uddyber, at hjernen også bruger vores erfaringer og automatiseringen til at forudsige, hvad der sker omkring os – og at det også gør hjernen nem at snyde. Mange har måske set en video, hvor forsøgspersoner skal tælle afleveringer mellem basketballspillere, som løber rundt mellem hinanden på en basketballbane, og helt overser, at en gorilla undervejs løber rundt mellem spillerne. Det skyldes, at

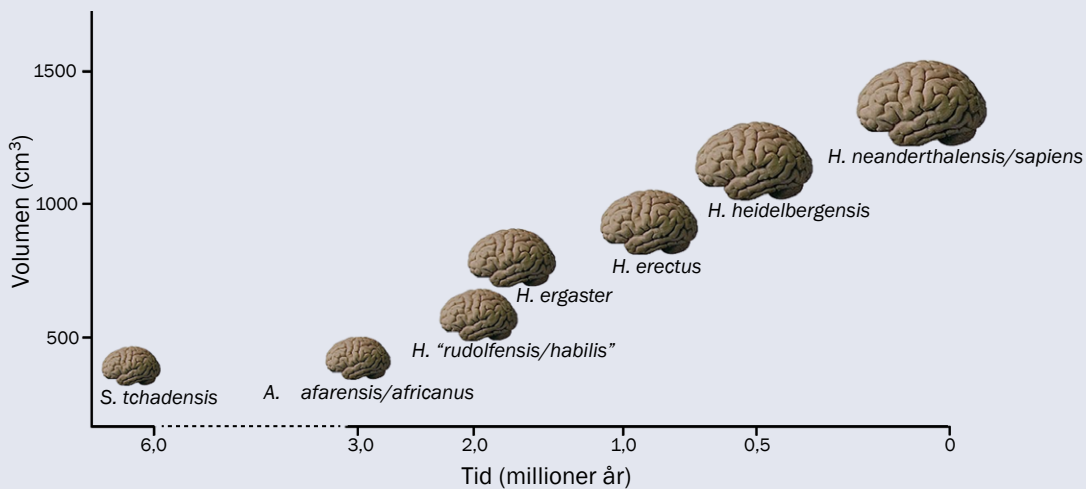
vores synssans bruger vores erfaringer og forventninger, når den afkoder dét, som øjnene ser, og dermed undertrykker detaljer, som ikke normalt forbindes med basketball – herunder gorillaer. Samtidig er vores opmærksomhed fokuseret på at tælle – så vi helt overser noget, som tilbage i naturen ville være helt afgørende at opdage. Hvis det omvendt var første gang, at forsøgsdeltagerne skulle tælle, havde de nok opdaget gorillaen, fordi automatiseringen ikke ville have været på plads til at snyde hjernen.

Dopamin giver mennesker motivation

Skal man lære noget nyt, er motivation altid et godt sted at starte, for det kan være meget svært at lære at spille for eksempel klaver, hvis man meget hellere vil sparke til en fodbold eller omvendt. Nogle ting er omvendt helt essentielle at være motiveret for. Det gælder blandt andet det at spise og dyrke sex, som begge er vigtige for, at vi som mennesker og art overhovedet kan overleve.

Heldigvis skal vi ikke motivere

Om hjernen



Efter: Bolhuis et al. PLoS biology. 12. e1001934, 10.1371/journal.pbio.1001934, Image credit: Gisselle Garcia (brain images)

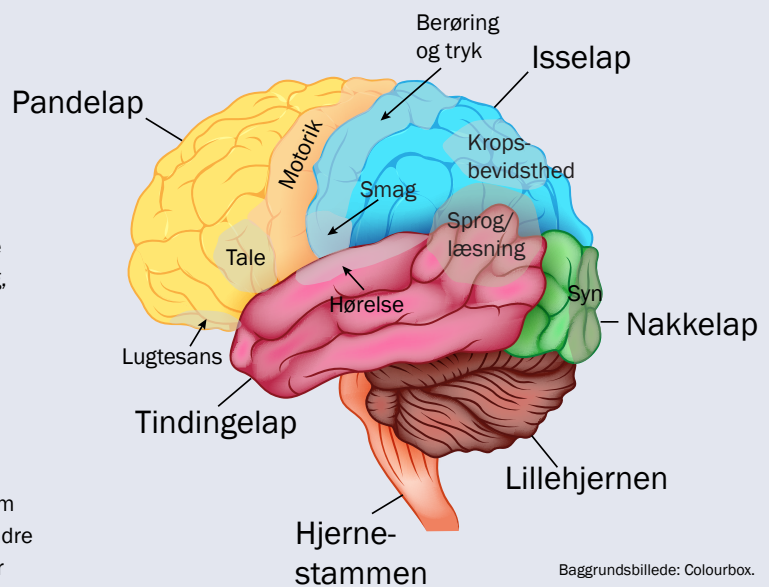
Skitse af, hvordan hjernestørrelsen hos arter på menneskelinjen har udviklet sig over de seneste 6 millioner år.

Menneskets hjerne er et ekstremt energi-krævende organ, at holde kørende. Den står for hele 20 % af kroppens energistofskifte og dermed iltforbrug. Evolutionært har der derfor været et stort pres på betydningen af hjernen for vores overlevelse. Det skal give en klar overlevelsesfordel at være klog, kunne tale sprog, planlægge, huske og tænke abstrakt fremfor bare at være stærk og hurtig, hvis det skal kunne betale sig at bruge så mange af vores ressourcer på netop dette ene organ.

Behovet for en velfungerende hjerne for det at være et velfungerende menneske er også årsagen til, at menneskebabyer er så godt som hjælpeløse i de første år af livet, mens alle andre dyreunger kan klare sig selv efter få uger eller måneder.

Forskning har mange gange peget på sammenhænge mellem vores hjerner udvikling og vores rejse frem mod at blive den dominerende art på Jorden. Faktisk lå det ikke i kortene, at vi mennesker skulle overtage planeten. For lidt under en million år siden var vi ikke flere end omkring 1.300 individer på Jorden. Jovist, disse forfædre var klogere end alle andre dyr på planeten, men vi var ikke de hurtigste, de største eller dem med de skarpeste tænder. Vi lavede heller ikke hundredvis af unger, som kunne sikre overlevelsen. Alt, vi havde, var vores hjerner.

Gennem tusinder af år viste det sig dog, at vores hjerner gav os en fordel i det evolutionære kapløb med de andre dyr på Jorden. I takt med, at vi blev klogere, kunne vi også bruge vores hjerner til at skaffe den ekstra energi, som organet



Baggrundsbillede: Colourbox.

Overfladen af hjernen kan anatomisk inddeles i forskellige overordnede sektioner. Der er angivet den omtrentlige placering af, hvor en række forskellige vigtige hjernefunktioner varetages i hjernen.

krævede, så hjernen ikke længere var en ulempe, men en fordel. Udvikling af redskaber til at jage store byttedyr gav os en ekstra kilde til føde, og det samme gjorde ilden, der gjorde det muligt at spise og få energi fra flere fødekilder.

Selvom vi i dag er meget klogere end vores forfædre for 200.000 år siden, var vores hjerner allerede dengang så godt som fuldt udviklede. Spørgsmålet er, om der i fremtiden er mere at komme efter, og om vores efterkommere kan få en endnu større overlevelsesfordel af at have endnu større og om muligt endnu mere avancerede hjerner.

Alzheimers og hjerneforskning

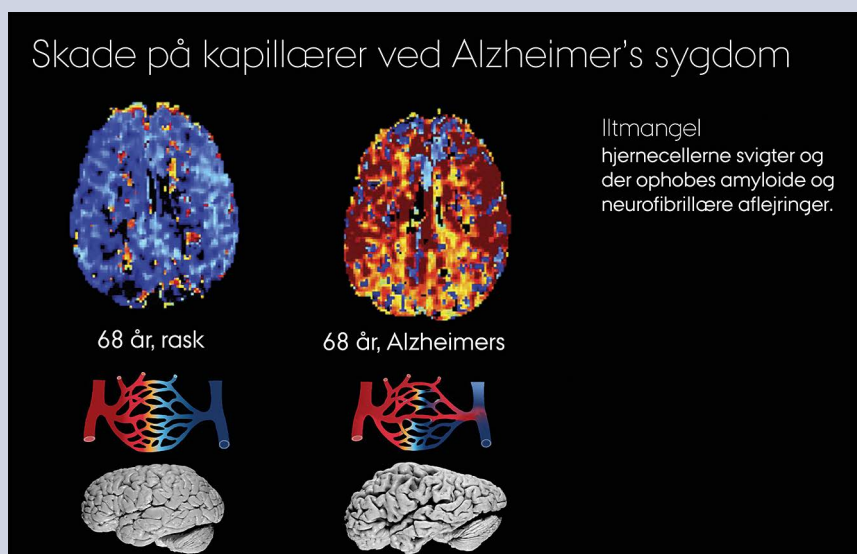
Et af de områder indenfor hjerneforskningen, som Leif Østergaard har beskæftiget sig med, er baggrunden for udviklingen af demenssygdomme, særligt Alzheimers sygdom.

Alzheimers er kendetegnet ved, at der ophobes klumper af forkert foldet protein, såkaldt beta-amyloid, i hjernen, og at der også dannes "totter" af snoede proteinråde kaldet neurofibrillære aflejringer inde i selve nervecellerne. Disse opboblinger har i sagens natur været i søgelyset for at være årsagen til, at hjerneceller ødelægges og går til grunde og de deraf følgende invaliderende symptomer, som også kendetegner Alzheimers. Forskningen har dog ikke med sikkerhed kunnet fastslå, om disse proteinophobninger i sig selv er årsagen til degenerering af hjernen ved Alzheimers.

For relativt nylig er det lykkedes at udvikle lægemidler, der er i stand til at reducere mængden af beta-amyloid i hjernen. Det ser dog umiddelbart ikke ud til, at det udgør nogen mirakelkur mod Alzheimers sygdom.

Leif Østergaard har sammen med kolleger fra Aarhus Universitet undersøgt en anden teori, nemlig om iltmangel i hjernen kan være den primære årsag til Alzheimers sygdom. I første omgang blev denne hypotese dog ikke støttet af undersøgelser af blodgennemstrømningen i hjernen, der viste, at blodforsyningen til hjernen ikke er kritisk lav ved demenssygdom-

os selv til hverken at spise eller dyrke sex, på samme måde som teenageforældre ofte kæmper med at motivere deres børn til overhovedet at stå ud af sengen om morgenen. Hjernen er nemlig udstyret med et genialt system, så motivationen kommer helt af sig selv. Centralt i hjernens system til motivation finder vi stoffet dopamin, som hjernen har udviklet til at



me. Men efterhånden som bedre teknikker har gjort det muligt at kortlægge blodgennemstrømningen helt ud i de fineste blodkar, de såkaldte kapillærer, tegner der sig et andet billede.

Kapillærerne danner et stort netværk, hvor blodet kan komme ud til hele hjernevævet. Her sørger kapillærerne både for at tilføre ilt til hjernen, og at fjerne de affaldsstoffer, der dannes inde i vævet. Velfungerende kapillærer sikrer, at blodet flyder nogenlunde lige hurtigt gennem hele netværket, så tilførslen af ilt og fjernelsen af affaldstoffer er så god som mulig.

Leif Østergaard og kolleger har kunnet vise, at sammenlignet med raske personer af tilsvarende alder er kapillærerne hos patienter med Alzheimers ikke i stand til at fordele

blodet tilstrækkeligt. Blodet vil derfor flyde hurtigt nogle steder og langsomt andre steder. Samlet set giver dette en dårligere udnyttelse af ilt i blodet samt en forringet evne til at fjerne hjernens affaldsstoffer. Hjernevævet kan derfor opleve, at det ikke får ilt nok, til trods for at der, overordnet set, er tilstrækkeligt ilt i blodet. Desuden kan hjernens affaldsstoffer såsom beta-amyloid ophobe sig inde i hjernen. Dette vil på sigt betyde, at hjernecellerne svigter og dør.

Et godt råd til at holde sine kapillærer i bedst mulig form gennem livet er at give hjernen udfordringer og at dyrke motion og spise grøntsager, der er med til at "skylle kapillærerne igennem" blandt andet gennem virkningen af molekylet nitrogenoxid (NO), der stimulerer åbning af kapillærerne.

give os tendens til at gøre det, som er vigtigt for vores overlevelse, og som også kan motivere os i mange andre henseender. Det er dog vigtigt, at man her holder tungen lige i munden.

»Oftentimes kalder folk dopamin for et belønningsstof, men det er faktisk forkert. Dopamin er et motivationsstof, der får os til at have lyst til at

gøre ting. Når vi så for eksempel spiser, dyrker sex eller andet, der er motiveret af dopamin, bliver der i hjernen frigivet belønningsstoffer som for eksempel endorfiner eller endocannabinoider, der giver os en god følelse i kroppen,« forklarer Leif Østergaard.

Han uddyber, at motivationssignalet og tilfredshedssignalet er helt

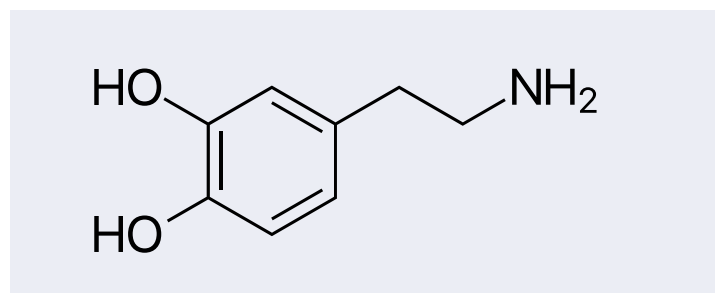
uafhængige i kroppen, så man sagtens kan have det ene signal uden også at have det andet. Alkoholikere kan som eksempel være enormt motiverede til at drikke alkohol, selvom de ikke længere nyder alkoholen. I den henseende er kun dopamin og lysten til alkohol i spil, uden at det giver en tilfredshedsfølelse.

»I samfundet er det vigtigt, at vi forstår, at for eksempel alkoholisme ikke skyldes, at personer ingen vilje har, men at det faktisk skyldes, at deres hjerner er blevet programmeret til hele tiden at indtage alkohol. Hjernen er sårbar over for den slags programmering af dopaminsignalet, fordi det til sidst gør det svært at lade være med at drikke,« forklarer Leif Østergaard.

Når dopamin kontrollerer vores liv

Kodning af hjernen er et af de forskningsområder, der modtager mest interesse indenfor hjerneforskningen, fordi det spiller ind så mange steder i vores liv. Nogle gange er det positivt, når det får os til at huske og lære nyt, mens det andre gange er negativt. For eksempel sker der en uhensigtsmæssig neural kodning i hjernen hos personer med posttraumatisk stresssyndrom (PTSD). Det gør, at forskellige centre i hjernen er stærkt forbundet, så lyde eller billeder kan tænde områder af hjernen, som de helst ikke skal tænde. Mange med PTSD efter krigsoplevelser er som eksempel meget følsomme over for høje pludselige lyde, hvilket kan aktivere et meget stærkt fysisk og emotionelt respons, simpelthen fordi de forskellige områder i hjernen er samkodet, og den høje lyd tænder et helt netværk af hjerneceller.

Indenfor behandling af personer med både PTSD og alkoholisme er der da også en drøm om, at man medicinsk eller med andre terapiformer kan styre hjernen, så den ikke aktiverer områder af hjernen med uhensigtsmæssige effekter på vores liv. Det kunne være en



Den kemiske struktur af signalstoffet dopamin, som spiller en vigtig rolle i forhold til at motivere os for at gøre ting.

behandling, der afkobler den høje lyd fra at aktivere centre i hjernen med betydning for stress og angst. Det kan også være en metode til at slette et bestemt minde eller trangen til at drikke 20 guldøl.

»Der bliver forsket meget i det, men det er enormt svært, fordi hjernen er så kompleks, og man skal være sikker på, at man ikke kommer til at slå andre dele af hjernen fra,« siger Leif Østergaard.

Hjerneforskere laver mange undersøgelser af, hvordan man kan aktivere og bibeholde motivationen, for eksempel for at hjælpe børn med indlæringsproblemer. Det gør udviklerne af algoritmerne bag sociale medier og medier som TikTok også – men her er det, fordi børn og unges tid på medierne kan oversættes til sorte tal på bundlinjen. Det skal retfærdigvis også nævnes, at flere softwareudviklere også forsøger at bruge spil og sociale mediers tillokkende designs til at udvikle nye læringsformer. I Kina findes TikTok for eksempel i en undervisningsversion – mens myndighederne begrænser børns adgang til traditionelle sociale medier og online spil.

Den unge hjerne er mere sårbar

Leif Østergaard fortæller, at netop unges hjerner ser ud til at være særligt sårbare over for den påvirkning, som sociale medier har på deres motivationsrespons i hjernen. Årsagen kan være, at børn og unge mennesker endnu er i gang med at udvikle forbindelser mellem den dybe del af hjernen,

hvor pludselige impulser opstår, og den forreste del af hjernen, som efterhånden lærer at undertrykke impulser til at gøre ting, som er uhensigtsmæssige. Disse forbindelser bliver tilsyneladende først færdigudviklede midt i tyverne, og nogle forskere mener, at det er årsagen til, at unge nemmere kan kaste sig ud i adfærd, som kan være farlig. Samtidig kan det også gøre det sværere for børn og unge at modstå sociale mediers algoritmer – selvom de ved, at det påvirker dem negativt.

»Når hjernen er fuldt udviklet, kan det blive lettere for den forreste del af hjernen at undertrykke impulser, der ikke er hensigtsmæssige. Men det er vigtigt at vide, at dopamin påvirker vores handlinger, uden vi selv er klar over det – derfor er voksne også sårbare over for den kraftige indvirkning, som omgivelserne kan have på ens dopamin-niveauer,« siger Leif Østergaard.

Han understreger samtidig, at vi alle sammen er forskellige, og at det samme gælder dopaminsignalerne i hjernen. Nogle mennesker bliver stimuleret af at prøve nye og vildere ting. Dopamin trækker dem i den retning, og de skal hele tiden rejse, opleve noget nyt og køre 200 kilometer i timen på motorvejen. Onkel Peter og Tante Kisser bliver måske ikke i samme grad drevet rundt af dopaminsignalerne i hjernen, og i stedet tager de hvert år til det samme sted ved Gardasøen, fordi det er et rart sted at være, og de kender både ejeren af campingpladsen og hende bag kassen i købmandsbutikken på hjørnet. ■

Videre læsning
Leif Østergaard (2016):
Hjernen. Tænkepause
fra Aarhus Universitets-
forlag. Bogen udkom på
engelsk i 2023.