

I denna artikelserie av neuroradiolog **David Fällmar** kan du läsa om fyra neuroradiologiska begrepp i varje nummer. Det huvudsakliga syftet är att underlätta för dig som skriver neuroradiologiska remisser och läser utlåtanden, men även för att främja kommunikationen över telefon och under röntgenronderna. Förhoppningsvis kan även den allmänbildande aspekten också skänka läsaren en viss tillfredsställelse. Vi har nu kommit till femte delen i artikelserien och ska titta närmare på bokstäverna Q, R, S och T. Om du missat eller glömt de tidigare delarna finns dessa tillgängliga i digital form på [neurologiisverige.se](http://neurologiisverige.se).

### Q. QUANTITATIVE MRI

Den 14 juli 2022 kunde vi läsa i Dagens Nyheter att även måttligt drickande kan leda till skador på hjärnan – 4,7 standardglas i veckan anges som måttligt. Ungefär vid den gränsen syntes ”markörer för ökad järnnivå i hjärnan”, vilket inte sågs hos deltagare som inte drack alkohol. Förhöjda nivåer var kopplat till



# Neuroradiologisk A-B



Del 5.  
Q-T

# och C-D-lära

sämre resultat i minnes- och motoriktester. Hur mäter man järnnivåer i hjärnan? I originalartikeln, Topiwala et al, PLOS Medicine 2022, beskrivs att över 20.000 deltagare från UK Biobank bland annat fick självrapportera sina alkoholvanor plus genomgå en MR-undersökning som inkluderade en QSM-sekvens. Denna sekvens användes alltså för att kvantifiera järnhalten i olika delar av hjärnan, som ett mått på neurodegeneration. Vi återkommer till det i slutet av kapitlet. Under tiden noterar vi att våra vänner britterna (de som deltog i UK Biobank) i genomsnitt dricker 17,7 enheter alkohol (motvarande 1,77 flaskor rödvin\*) per vecka, med en rejäl standarddeviation på hela 15,9 enheter. Vi låter det sjunka in lite innan vi går vidare.

Många tror att MR är ”som DT fast bättre”. Ni som följer denna A-B och C-D-lära har redan fått se att det inte är så enkelt. DT kan användas för att mäta attenuering av röntgenstrålar, vilket uttrycks i Hounsfield Units (HU). Med dessa kan radiologen i viss mån skilja vissa vävnader åt (i stigande ordning: luft, fett, klar vätska, proteinhaltig vätska, blod & mjukdelar, kalk, skelett och metall). På en DT-angiografi kan man få en uppfattning om exakt vilket angiografiskt tidsfönster bilden togs i, genom att jämföra HU i artärer och vener. Med MR är det – som alltid – mer komplicerat.

MR kan oftast inte användas för kvantifiering; det är nonsens att mäta hur ”vitt” det är på en T1- eller T2-viktad

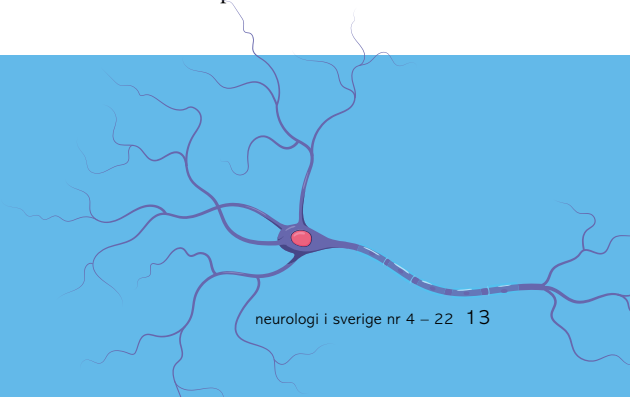
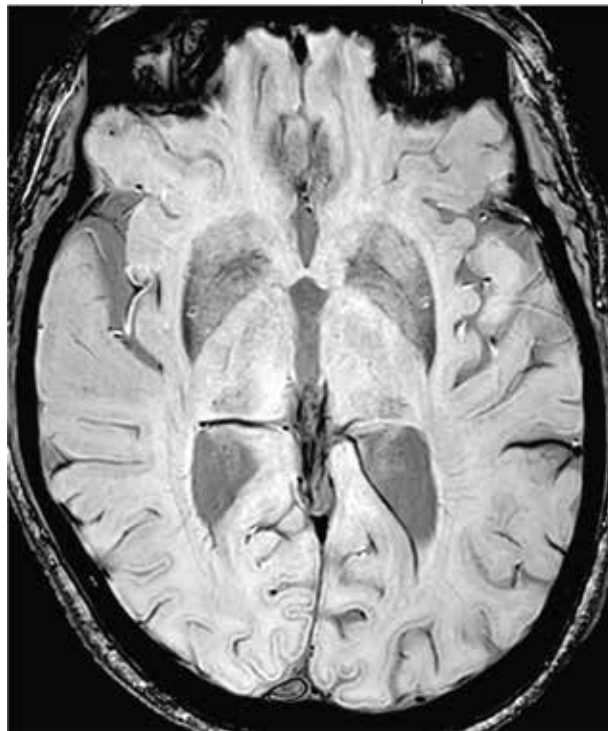


bild. De pixelvärden som utgör bilden är alltid relativa och påverkas direkt av en lång rad olika inställningar och parametrar (ekotid, repetitionstid, flipvinkel, et cetera). Men det finns några undantag! Utifrån diffusionsviktade bilder går det att ta fram beräknade bilder som kallas "ADC-kartor", vilket nämndes under bokstaven B (om b-värde) i första avsnittet av denna artikelseerie (Neurologi i Sverige 3/2021). Diffusionskoefficienten kan mätas i bilden eftersom pixelvärdet motsvarar ett kvantitativt värde. Det går också teoretiskt att kvantitativt avgränsa infarerad och hypoxisk vävnad från levande, även om detta inte är klinisk rutin. Även perfusion går att kvantifiera och detta på flera olika sätt. Den som försökt läsa om perfusionsundersökningar av hjärnan har stött på begrepp som CBV, CBF, ATT, TMAX, TTD, TTS, TTP, MTT, AIF, Läckagekartor, K-trans, och så vidare. En del av dessa förkortningar används främst för DT-perfusion, andra för MR-perfusion, och vissa är gemensamma (även PET och SPECT kan användas för att kvantifiera perfusion). Måtten anges kvantitativt och ligger ibland till grund för kliniska beslut, men det är det bra att känna till att de specifika värdena ska tas med en nypa salt. När olika perfusionsmetoder jämförs på samma person vid samma undersökningstillfälle är överensstämmelsen mellan metoderna överraskande svag, på sin höjd måttlig. Orsaken till det är att olika metoder mäter lite olika saker, som var för sig speglar perfusionen, men på lite olika sätt. Det är till och med så att om samma dataset (en enda undersökning!) beräknas av olika analysprogram kommer resultaten att skilja sig åt. Anledningen till det är att beräkningarna använder en rad olika approximationer för exakt vad som händer i vävnaden när blodet kommer dit. Ett pragmatiskt sätt för oss radiologer att hantera perfusion är att göra ett ratio mellan det vi vill mäta och ett motsvarande



**Figur Q** visar mörka basala ganglier hos en äldre patient. Signalbortfallet beror huvudsakligen på järninlagring som ett led i åldrande/degeneration. Den här bilden är från en SWI-sekvens som används i klinisk rutin och visar, till skillnad från QSM-bilder, inte kvantitativa värden utan är bara för visuell bedömning.

område som ser normalt ut. Ett högt sådant ratio kan exempelvis signalera malignitet. Minst lika ofta används en rent okulär metod.

Men hur var det nu med järninlagringen i hjärnan? Sekvensen som användes i den studien, QSM, är en specifik sekvens som kan kvantifiera lokala störningar i magnetfältet. Förkortningen står för Quantitative Susceptibility Mapping. Susceptibilitet är ett begrepp som är centralt för flera MR-sekvenser. Det tar fasta på att paramagnetiska ämnen, såsom järn i vissa fysikaliska tillstånd, orsakar små lokala störningar i magnetfältet. Det blir alltså små artefakter, signalbortfall, som används till radiologens fördel ("den enes artefakt är den andres biomarkör"). Genom att skapa bilder som förstärker dessa små susceptibilitetsartefakter framstår även minimala fynd tydligt. Detta är grunden för "blödningsskänliga" sekvenser såsom T2\*, VenBold, SWAN och SWI. I blödningssrester, även efter mikrobildning-

ar, finns blodnedbrytningsprodukter som orsakar fokala signalbortfall, vilket vi ser som svarta prickar eller fläckar. Även venöst blod, kalk, luft och andra störningskällor orsakar svarta fält. De svarta fälten är större än den orsakande källan eftersom den lokala magnetiska effekten förstärkts. Susceptibilitetsartefakter kan ses redan några timmar efter en akut blödning i form av en tunn svart kontur; i MS-plack ses en tunn svart kant som tros representera järn inlagrat i mikroglia. Hos vissa patienter med ALS noteras en svart subkortikal kontur i gyrus precentralis, men gränsdragning mellan friskt och sjukt är väldigt svårt eftersom fenomenet framträder olika starkt vid olika fältstyrka och i olika kameror. Gränsdragningen är minst lika svår vad gäller degeneration i basala ganglier, som blir "svarta" på dylika sekvenser på grund av ökat järninnehåll och/eller mikroförfalkningar [Figur Q].

Susceptibilitetskänliga bilder kan behandlas med sofistikerad post-pro-

cessing till QSM, med ambitionen att kvantifiera de magnetfältsstörande egenskaperna i den underliggande vävnaden. Metoden har bland annat använts i många studier på Parkinsons sjukdom, där graden av järninlagring i substantia nigra och striatum associeras till progredierande neurodegeneration. Om vi nu återgår till studien om hjärnskador vid måttligt drickande, så användes metoden alltså som ett mått på degeneration i basala ganglier även hos friska – vilket var associerat med alkoholintaget.

\*75 cl flaska med en alkoholhalt på 13,5%.  
Källa [www.nhs.uk](http://www.nhs.uk).

## R. RADIOPAEDIA

Jag minns inte var, men någonstans hörde eller läste jag om ett underhållande tankeexperiment. Föreställ dig ett scenario i mitten av 1990-talet, på ett kontor som tillhör direktören för ett stort bokförlag. Vi kanske ser för vårt inre öga en mörk kostym, en ölmage och en bister uppsyn. Tänk dig nu att en snärtig yngling kliver in på kontoret och säger åt denne direktör att sluta trycka uppslagsböcker. Varför då? För att det kommer uppstå en gratis uppslagsbok på internet, som uppdateras varje dag. Hur kan den vara gratis då? Därför att folk kommer att skriva den själva. Det är nu angenämt att skadeglatt föreställa sig det toxiska, kluckande hänskrattet, eftersom vi kan förstå hur löjlig vår påhittade person fann argumentationen, samtidigt som vi ju alla vet hur det gick.

När jag i slutet av 00-talet gjorde placering på vårdcentral som en del av min AT fanns förstas Wikipedia och det fanns en version av internetmedicin.se som var ungefär hälften av vad den är i dag. Läkemedelsboken fanns både i tryckt och digitalt format. Men det var inte riktigt heltäckande, så jag hade en kundkorg med alla mina fusk-lappar och några väl valda böcker som jag bar med mig mellan de olika rum-

men jag hade min mottagning i. När jag sedan började min ST i radiologi fanns det några enstaka böcker, men ganska snabbt landade vi i en nästan helt digital beslutsstödmiljö. En hörnsten av detta var och är Radiopaedia, som delvis men inte helt påminner om Wikipedia. Likheten är att det är gratis och lättillgängligt, samt att det mesta av innehållet lagts upp och redigerats av användarna. Bland skillnaderna märker vi att Radiopaedia är reklamfinansierat och att det har en tydlig ledning som tar in en del pengar genom att sälja premiummedlemskap och (riktigt bra) kurser och konferenser.

I dag har Radiopaedia 16.000 artiklar om olika diagnoser och metoder och 50.000 patientfall, varav de allra flesta laddats upp av användare. Det finns naturligtvis "professionella" hemsidor som erbjuder motsvarande beslutsstöd för oss; ett bra exempel på det är STATdx, som samlat alla bilder och artiklar från en uppsättning läroböcker. Det finns likheter och skillnader mellan dessa typer av hemsidor. Den första skillnaden är konceptuell, där den ena skrivits av en liten grupp experter med ett konkret uppdrag, en redaktion och ett tydligt format att förhålla sig till. Den andra är en kollaborativ verksamhet som förvisso också skrivs av "experter" (personer som själva känner sig lämpade för uppgiften) och där texterna också hanteras av en "editorial board", men inte riktigt på samma sätt. Övriga skillnader, förutom att den ena är gratis och den andra kostar pengar, är att artiklarna på STATdx är mer stringent kurerade och har en mer omfattande referenslista samt en namngiven huvudförfattare. Min personliga erfarenhet är att Radiopaedia duger gott till att ge snabba svar på okomplicerade frågor men att STATdx har större tyngd när svåra fall ska jämföras med tänkbara differentialdiagnoser. Ibland kompletterar de varandra och båda fyller ett tydligt kliniskt be-

hov. De expertskrivna sidorna har som sagt en fördel i att de bättre kan beskriva och avgränsa kliniskt relevanta differentialdiagnoser. Radiopaedia uppdateras å andra sidan snabbare med nyheter och har en del andra intressanta funktioner.

Finns det inga fysiska böcker kvar då? Jodå – i min värld finns det en och annan som fortfarande har ett tydligt existensberättigande. I första hand tänker jag på Osborn's Brain, som kom i ny utgåva 2017 och är den senaste i en lång rad läroböcker av Anne G Osborn. Den betraktas av många som en neuroradiologisk bibel (vad nu det betyder) och det finns såvitt jag vet ingen fysisk bok som erbjuder bättre allmän neuroradiologisk läsning för en subspecialist. Osborns egen hjärna är för övrigt i mycket gott skick! Anne är i skrivande stund 79 år och en ständigt självklar Keynote speaker som outtröttligt föreläser på de flesta neuroradiologiska kongresser om det senaste och det svåraste inom hjärntumörer. Hon är utan tvekan världens mest berömda nu levande neuroradiolog, och på grund av hennes enorma popularitet ordnas det ibland särskilda selfie-tillfällen i samband med hennes föreläsningar\*\*. Hon besökte vår sektion på Akademiska sjukhuset i Uppsala nån gång i mitten av 00-talet, och fick då under värdiga former signera ett totalt sönderläst exemplar av en av sina böcker. Senast jag pratade med henne var i maj 2022 på en välkomsteremoni i den historiska Håkonshallen i Bergen, under en neurokirurgisk kongress. Där gled hon bekymmersfritt runt i folkhavet – en naturlig mingellejoninna med ett vackert leende och ett inbjudande sätt – och droppade dräpliga anekdoter från sina omfångsrika erfarenheter. Även om jag ofta hoppar in på Radiopaedia för att snabbt dubbelkolla en detalj och med jämna mellanrum tar till STATdx för att jämföra differentier, är det Osborns hjärna jag tar till när jag verkli-

# och C-D-lära

gen behöver fylla en kunskapslucka. Men Radiopaedia och dylika källor har även en helt annan styrka som bäst kan beskrivas med ett konkret exempel.

Från chiasma opticum landar synbanorna huvudsakligen i talamus laterala knäkropp, där de kopplas om till radiatio optica, som sträcker sig brett genom dels temporallöben och dels parietallöben. Den inferiora/temporal delen av synstrålningen kallas ibland Archambaults loop eller, betydligt oftare, Meyers loop – efter den anatom som först beskrev den 1907. Den superiora delen, som går genom parietallöben, har länge saknat namn. Under 2000-talet har dock namnet Baums loop blivit vanligt och namnet har dykt upp i en rad läroböcker och på olika hemsidor. En av alla användare som redigerade en artikel på Radiopaedia, konstaterade lite försiktigt att ”den egentligen inte heter så”. Detta modesta inlägg drog igång ett äkta detektivarbete som bland annat engagerade Frank Gaillard, som utöver att vara en av Radiopaedias grundare även är en av världens bästa föreläsare i neuroradiologi. Tack vare formatets spårbarhet och revisionshistorik klargjordes att namnet Baum's loop dök upp på Wikipedia först, och spreds därifrån. Den 18:e oktober 2009 lade en anonym användare i Providence, Rhode Island, till namnet i artikeln om synbanor på Wikipedia – inte i själva brödtexten utan bara i en anspråkslös tabell en bit ned. Under åren som passerat sedan dess har namnet inte bara hamnat ”överallt på internet” utan även i ett antal prestigefyllda läroböcker såsom Gray's surgical anatomy (sida 174). Franks fortsatta detektivarbete ledde honom till Andrew Baum, en ung amerikansk akutläkare med ett skälmskt leende. Andrew erkände via mail att han hittat på namnet och petat in det i Wikipedia. Varför då? När han gick neurologkursen under läkarprogrammet störde han sig på att banan inte hade något namn, och efter upprepad fråga till



**Figur 5** visar Erik Lindgren, som med stor noggrannhet positionerar en patient inför bildtagning.

professorn fick han svaret att ”han själv fick hitta på vad den skulle heta”. Vilket han gjorde. Så på vilket sätt är detta se-de-lärande? Jo, formatet att användarna skapar och varje dag redigerar innehållet i vår gemensamma kunskapsbas har vissa nackdelar men även stora fördelar. Baum lyckades med sitt bus, och fick hela världen (näja) att i elva år använda hans eponym, efter några simpla knapptryckningar. Men medan Wikipedia och Radiopaedia nu har korrigerats, så kommer det för all framtid stå fel i de redan tryckta böcker som ligger på skrivbord och bokhyllor runtom i världen. Och för varje dag som går så kommer de öppna kollaborativa plattformarna att ta ett ytterligare steg framåt.

**\*\*Anne Osborn blev 1988 den första kvinnliga presidenten för American Society of Neuroradiology och är även en frontfigur för mormonerna.**

### S. STOCKHOLMSSKOLAN

Så Anne Osborn är allas idol, men har du någonsin funderat på vilken historisk neuroradiolog som du är mest lik? Folkliga och ungdomliga tidskrifter har ju regelbundet små tester som avslöjar vilken kändis, pokemon eller filmkaraktär som läsaren har mest gemensamt med – men jag har väntat

förgäves på en motsvarande för berömda neuroradiologer. Du kanske känner igen dig mest i Giovanni Di Chiro händelserika liv? Han som trotsade personliga motgångar och från sin rullstol höll gastkramande, livliga föreläsningar med sin bullrande röst (”basso profundo”). Eller så är du mest lik det tekniska geniet Erik Lysholm, som uppfann en lång rad eleganta lösningar på praktiska problem. Lysholms tippbara röntgenbord såldes över hela världen och användes till många tusen luftskallar och färgskallar (när ventrikulerna kunde avbildas för att de var fyllda av luft eller kontrastmedel). Ventrikulogrammen korrelerades noggrant med peroperativa fynd i samarbete med den legendariska neurokirurgen Herbert Olivecrona. Eller känner du igen dig i den djärva och proaktiva Torgny Greitz? Som, utöver att nätverka i Europa, satte hela sin karriär på spel när han helt utan finansiering eller uppbackning från sjukhusledningen skrev kontrakt för att köpa in Sveriges första datortomograf. ”Ni får sätta mig i fängelse om ni vill!” lär han ha sagt till Karolinska sjukhusets ledning. Kameran blev retroaktivt finansierad och hugs-kottet blev ännu en framgång.

En historisk epok binder ihop dessa namn, tillsammans med många andra. Det kallas för Stockholmskolan; under en tidsperiod fanns ett svenskt kollegium som var så framstående i att ta fram och sprida kunskap att hela den radiologiska världen stannade upp för att lyssna. Utöver en tydlig organisation med egna röntgenkliniker var det också en standardiserad och precis metodologi som banade en ny väg framåt för den ditintills yviga röntgenverksamheten. Många radiologer från olika delar av världen reste till Serafimerlasarettet för att ta del av den strukturerade undersökningsteknik som svenskarna kunde erbjuda. Di Chiro var en sådan ”randare”. Stockholmskolan startade upp regelbundna internationella symposier och stod för en stor del av tex-

terna i Acta Radiologica. Utöver de namn som hittills nämnts fanns även en viss Erik Lindgren.

Personligen känner jag nog mest samhörighet med den sistnämnda [Figur S]. Av en slump tilldelades jag "the Erik Lindgren award" på en kongress 2017, varpå jag läste lite mer om honom som person. Han föddes i Uppsala precis som jag, och ägnade sig bland många andra saker åt att utföra noggranna mätningar på ventriklar, vilket även jag gör i mina studier av NPH. Erik var mycket noggrann och precis, och fick smeknamnet "Petimeter" vilket sedan kortades till "Peter". Han förmådde sina elever att sträva efter samma noggrannhet och språkliga exakthet som han själv behärskade, och kanske bidrog kombinationen av dessa egenskaper något till att läkare från hela världen reste till Stockholm för att tillskansa sig den svenska metoden.

Låt oss betrakta Erik Lindgrens tidslinje en liten stund. Han föddes bara tio år efter att Wilhelm Konrad Röntgen upptäckte den fantastiska nya X-strålen. Bilar och telefoner fanns bara hos de allra rikaste och mest moderna familjer. Norge blev självständigt från Sverige samma år han föddes och han var tre år gammal när biltillverkaren Henry Ford började tillverka sin berömda modell T. Kanske satt han under köksbordet med en träleksak när hans far läste om det i tidningen. Som nioåring fick han erfara att ett världskrig brutit ut och som sextonåring fick han se kvinnor gå och rösta i Sverige. På trettioalet blev han radiolog på Serafimerlasarettet och hann nätt och jämnt bli biträdande chef innan Hitler invaderade Polen och det andra världskriget var ett faktum. Under tiden fortsatte han arbeta som klinisk neuroradiolog och tog över ansvaret för det som kallades Stockholmskolan. Strax efter andra världskrigets slut blev han professor i "diagnostisk radiologi med neuroradiologi". Han blev sedan redaktör för Acta Radiolo-

gica, vilket han sedan var i över trettio år. Trettio år är en lång tid och i det här fallet ryms många milstolpar; införandet av statlig television i Sverige, medborgarrättsrörelsen i USA, kriget i Korea och Vietnam, den första månlandningen, när berlinmuren och det kommunistiska Östeuropa föll, åtskilliga kolonialländers frigörelse och självständighet, att Olof Palme blev vald till statsminister – och omvald – samt premiärerna för de två första Star Wars-filmerna. Hans språkliga stringens och redaktöriella flit anses ha bidragit starkt till neuroradiologins framgångar under denna tidsperiod. Mot slutet av sin karriär var han en av de första som publicerade om den banbrytande metoden DT-angiografi. Som nybliven pensionär kunde Erik läsa om datortomografins och magnetkamerans fortsatta framsteg. Hans yrke delades successivt upp i två separata specialiteter – diagnostisk neuroradiologi och neurointervention, där den sistnämnda fick verktyg som Erik bara kunnat drömma om – med heroiska och superselektiva emboliseringar och helbräddagörande trombektomier. På sin ålders höst kunde han se de läckra, färgkodade bilder som PET och fMRI frambringar, och som har gett oss en så mycket djupare förståelse av den levande hjärnans funktioner. Under Eriks sista år på jorden vände mänskligheten nya blad. Google, som redan var tio år gammalt, gav världen till folket genom att lansera Google Maps, och Mark Zuckerberg skapade samtidigt sitt Facebook. Janus blickade mot en ny era för mänskligheten.

Erik blev hundra år – han föddes innan T-Forden och levde ända till Google Maps. Om det nu är sant att utvecklingen i världen går allt snabbare – hur häpnadsväckande kommer då inte VÅRA nekrologer att tecknas?

#### T. TRACTOGRAFI

Färgglad spaghetti i hjärnan! Ingen kan motstå färgglad spaghetti i hjär-

nan. Men vad ska vi göra med dem? Och vad sjutton är en färgglad spaghetti?

Vi börjar från början. Funktionen i den grå substansen skulle ju vara meningslös utan den vita. Allt som hjärnan vet om sin omvärld har förmedlats av den vita substansen, och allt som människan någonsin utfört och uttryckt, har ju förmedlats från den grå substansen till omvärlden via den vita. För övrigt är begreppet "substans" så oprecist och svepande att jag som hjärnälskare nästan blir lite sekundärkränkt. Den vita "substansen" är ju ett makalöst intrikat nätverk av kopplingar mellan hjärnans olika delar som utgör både skelett och struktur åt alla de hierarkier och nätverksfunktioner som den grå "substansen" möjliggör. Nätverken är både av logistisk och funktionell karaktär, och balansen mellan alla processer är det som gör oss till människor, till unika individer och till älskvärda personligheter. Mer än bara ban-system!

Diffusionsviktade MR-sekvenser kan se skillnad på protoner som står still och protoner som rör sig. Av fysikaliska skäl är det protoner i väte som vi kan se på bilderna – och i kroppen finns det gott om vattenmolekyler, med två väteatomer vardera. Vatten som rör sig kan göra det längs blodkärl via perfusion eller spontant via diffusion.

Diffusionsviktningen görs i en viss riktning, genom att en magnetfältsgradient ändras fram och sedan tillbaka igen åt ett visst håll. När vi letar efter en infarkt eller abscess tar vi diffusionsviktade bilder med ett visst antal olika riktningar för att hitta de protoner som står helt still. Detta kallas DWI och har förklarats tidigare i artikelserien. Men om vi istället håller koll på de olika riktningar som vi uppmätt kan vi se VART vattnet diffunderar. Detta kallas DTI (diffusion tensor imaging). I likvor diffunderar vatten helt slumpmässigt åt alla håll, vilket kallas isotrop diffusion (lika riktning).

# och C-D-lära

I den vita substansen diffunderar vattenmolekyler i större utsträckning längs med axoner än på tvären, på grund av cellmembranen och dess hydrofoba höljen. Ju mer riktad diffusionen är i en viss volym, desto större är dess anisotropi. Vi mäter volymer i voxel, vilket är en tredimensionell pixel. Anisotropin kan mätas på flera olika sätt, bland annat med FA-värden (där A står för anisotropi), och en frisk och välisolerad tractus (bana) har en större anisotropi än en motsvarande vitsubstansbana vars myelin har skadats av ischemiska eller inflammatoriska processer. Friskt myelin innebär ju som bekant en isolerande fettskida.

När vi har ett stort antal voxel med anisotropi kan vi se att en del intilliggande punkter är anisotropa åt samma eller liknande håll. Detta blir en grov vägvisare för den underliggande strukturen. En voxel som är en eller flera kubikmillimeter stor innehåller förstås ett

mycket stort antal axoner. Om tillräckligt många av dessa pekar åt samma håll under en tillräckligt lång sträcka kommer vi kunna skönja denna riktning – de underliggande bansystemen – när vi radar upp voxelerna och betraktar riktningen på deras anisotropi. Detta kan vi delvis se med blotta ögat genom att färgkoda riktningarna [Figur T1]. Röd färg betyder att riktningen i en voxel huvudsakligen är ”höger-vänster”, grön betyder ”anteriort-posteriort” och blått betyder ”superiort-inferiort”. De grova strukturerna kan ses direkt, såsom den blå pyramidbanan i centrum semiovale och de knallröda kommissurbanorna [Figur T1]. För att kunna se bansystemens tredimensionella struktur behöver vi dock komma vidare.

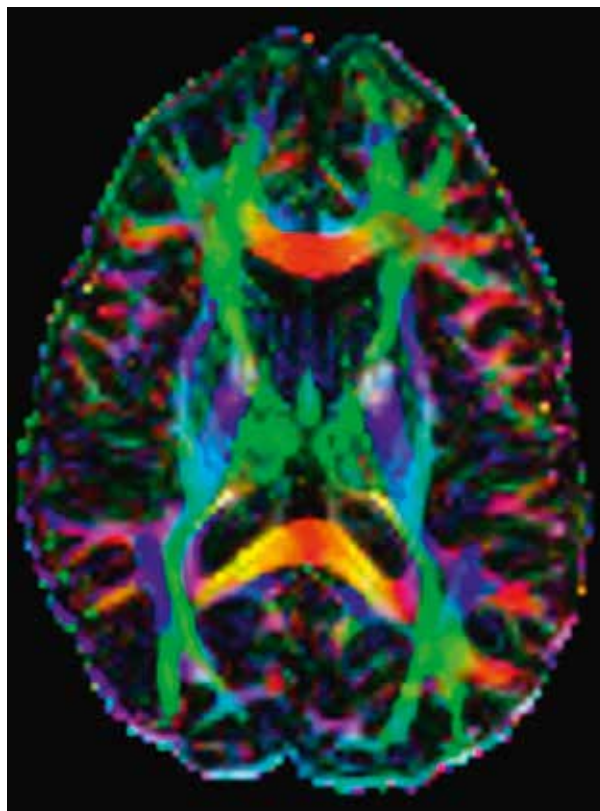
När alla voxel har en riktning och ett anisotropivärde kan vi låta ett datorprogram räkna ut och visa upp hur de underliggande banorna förmodligen

förlöper. Detta är helt och hållet baserat på tröskelvärden och således en oprecis approximation. Om två intilliggande pixlar pekar åt samma håll innehåller de förmodligen ett bansystem. Om riktningen skiljer sig en aning kanske banan svänger lite, men om riktningen skiljer sig mycket är det nog istället två olika banor vi ser – som kanske korsar varandra eller har några gemensamma fibrer. Det är nu vi får fram spaghattbilderna, och det är det vi kallar tractografi – en bild av bansystemen. Om alla banor visas samtidigt blir det en väldigt plottrig bild, så för det mesta har någon valt ut vilken eller vilka banor (tracti) som ska visas upp genom att ställa in fönster och logiska villkor (T.ex. ”Ska passera genom både position X och position Y men inte genom position Z”). På det sättet visas en eller några banor upp åt gången [Figur T2].

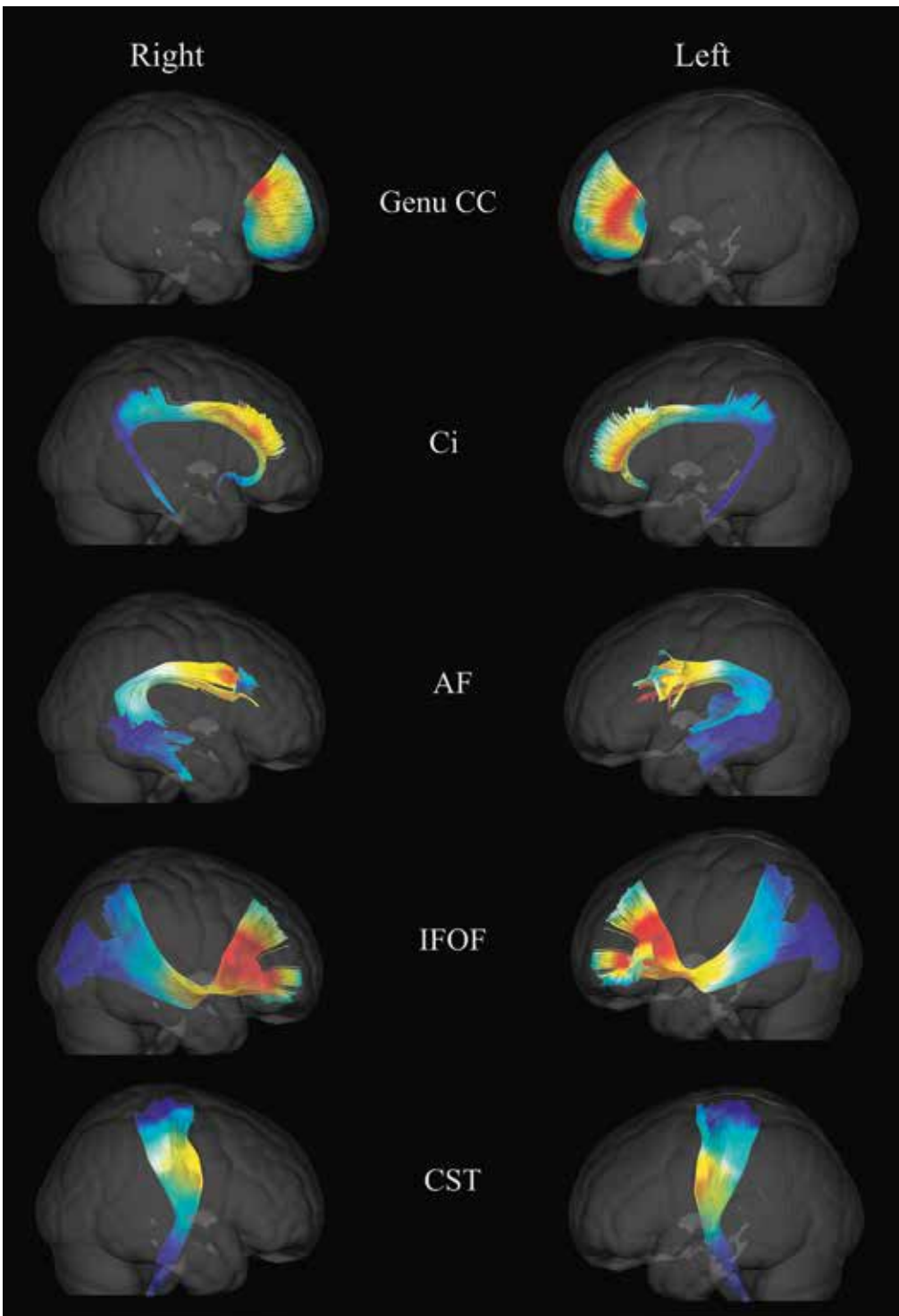
Nyare metoder samt nya algoritmer och analysprogram försöker reda ut korsande banor och partiella volymer, men metoden har alltså sina begränsningar. De större banorna kan vi se och lokalisera, men för en fullständig bild skulle det krävas en upplösning och precision som ännu inte är tekniskt möjlig. Mätvärdena störs av ödem, vitsubstansförändringar och förkalkningar.

Ur ett kliniskt perspektiv kan DTI användas preoperativt för att visa kirurgen var viktiga banor ligger i förhållande till en tumör. I synnerhet är det väl pyramidbanan, synstrålningen och vissa språkbanor som är mest relevanta från det kirurgiska perspektivet. Det ska dock nämnas, att så fort skallen är öppnad och tumören blottlagts, så kommer all vävnad att förskjutas på grund av det lättade trycket, varpå den exakta lokaliseringen för banan ändras.

Ur ett forskningsperspektiv finns spännande möjligheter. Kombinationen av tractografi och fMRI kan användas till nästan obegränsade korrelationsstudier mellan funktionell och strukturell konnektivitet. Som perso-



**Figur T1** visar färgkodade diffusionsviktningar från en DTI-undersökning. Tack vare diffusionsmätningar i olika riktningar kan de större vitsubstansbanorna visualiseras. Blå områden visar banor som går i superoinferior riktning, röda banor laterolateral riktning och gröna områden är anteroposterior riktning. Descenderande motoriska banor ses i blått på vardera sida om putamen (capsulae interna et externa).



**Figur T2** visar fem utvalda vitsubstansbanor i form av tractografier (CC=Corpus callosum, Ci=Cingulum, AF=Fasciculus arcuatus, IFOF=Fasciculus frontooccipitalis inferior, CST=Tractus corticospinalis). Färgkodningen visar hur ofta banan infiltreras av lågradiga gliom. Bilden kommer från Francesco Latinis avhandling från 2021 (Significance of white matter anatomy in interpreting features and behaviour of low-grade gliomas and implications for surgical treatment).

ner är vi ju – uppenbarligen – ”koppade på olika sätt” och mycket psykologisk kunskap kan nog hämtas här. Men även klinisk forskning kan tillämpas! Genom att mäta FA-värden längs olika delar av ett relevant tractus kan fokala inflammatoriska processer sättas i ett nytt funktionellt-anatomiskt perspektiv. I en omfattande avhandling från 2021 visade neurokirurgen Francesco Latini bland annat på detaljnivå vilka banor som oftast infiltrerades av gliom [Figur T2]. Preoperativt infiltrationsmönster korrelerades till kliniska parametrar och postoperativt resultat.

Tractografier var heta när metoden var ny och på sätt och vis har den allmänna entusiasmen lugnat sig något. Vid en första anblick kan den kliniska nyttan i nuläget förefalla begränsad, men metoden har potential att bidra med oersättlig information, i synnerhet om den kombineras med annan data. Utöver det som redan nämnts kan exempelvis konnektivitetsanalyser göras på individnivå och en hel värld av neuroanatomisk precisionsmedicin ligger nog här och väntar på att bli tålmodigt utforskad.



**DAVID FÄLLMAR**  
Neuroradiolog, Akademiska sjukhuset  
david.fallmar@akademiska.se  
(återkoppla gärna!)

*Faktagranskat av Johan Wikström (professor i neuroradiologi). Stycket om Stockholmskolan har granskats av professor Magnus Kaijser, neuroradiolog med särskild inblick i denna del av historien. Stycket om tractografier har även granskats av Francesco Latini, som är neurokirurg med uttalad spetskompetens inom ämnet.*

# och C-D-lära

