

Innledende kommentarer:

Artikkelen ble publisert i Skolepsykologi nr 7/2000. Den fokuserer nevropsykologisk forskning i forbindelse med oppdagelsen av medfødte matematiske evner. Tilgrensende forskning og en avsluttende drøfting av egne kartleggingsdata inngår i stoffet.

§§

Spesifikke matematikkvansker. Medfødte matematiske evner, og noen implikasjoner i forhold til spesifikke matematikkvansker.

Konstruktivismen står sterkt i vår fagtradisjon. Innflytelsesrike fagfolk som den sveitsiske psykolog Jean Piaget og andre, har gjennom sine arbeider bidratt til stort gjennomslag for denne retningen. Det tror jeg har gagnet matematikkfaget i norsk skole.

Ettersom forskning legger stadig større viten under lupen, har de fleste av disse retningene vist seg i noen grad utilstrekkelig for å belyse alle sider ved utvikling av matematisk evne - kanskje spesielt hvordan kognitive kunnskapsbaser bygges opp. I matematisk sammenheng, har vi flere forskningsmiljøer som nylig har påvist medfødte matematiske evner hos menneskene - en starter ikke med tilnærmete blanke ark når en kommer til verden (konstruktivismen). Denne oppdagelsen kan vise seg å bli et viktig bidrag i arbeidet med spesifikke matematikkvansker. En svikt i de medfødte evner kan føre til alvorlig svikt i utviklingen av matematisk evne. En identifikasjon av denne type svikt vil kunne utelukke feildiagnose og påfølgende feildisponerte pedagogiske opplegg.

Forskning

Den engelske professor i kognitiv nevropsykologi ved University College London, Brian Butterworth, har gjennom sin forskning og sine bidrag i internasjonale tidsskrifter, bidratt til å kaste lys over ulike sider ved det nevropsykologiske grunnlaget for matematisk funksjon og utvikling. I sin bok *The Mathematical Brain* som kom ut i 1999 viser han til at når alle mennesker teller på en eller annen måte, er det ikke på grunn av at alle har hatt mulighet til å

lære denne ferdighet, men på grunn av at vi er født med spesielle nettverk i hjernen som kategoriserer verden i mengdeforhold.

Nyfødte så tidlig som i sin første uke etter fødsel er i stand til å kategorisere verden i mengder, og nyfødte som er noen få uker gamle – og for ung til å ha lært om aritmetikk, kan addere og subtrahere. Butterworth belyser også hvorfor telling er det konseptuelle redskap som videreutvikler medfødt evne til mengdekategorisering – og fører det over i kulturbasert matematisk funksjon.

Begynnelsen

Oppdagelsen av denne medfødte nevrofunksjonelle evne er av relativ ny dato. Den første påvisning av dette kan dateres til 1980, men fortsatt rundt 1985 lå denne forskningen i sin spede begynnelse. Først rundt 1990 skjøt den for alvor fart. Det hele startet i 1980 i Prentice Starkey's laboratorium ved University of Pennsylvania. Det er derfor ikke tilfeldig at teamet rundt Starkey skulle komme til å spille en viktig rolle på dette forskningsområdet utover i 90-åra. Starkey, Gelman og Spelke (1990) arbeidet innledningsvis med babyer i en alder mellom 16 og 30 uker. Mens man tidligere hadde vært noe usikker på om det var varianter av nyhetsseleksjon hos barna som hadde ført til valg i mengdeforhold, viste deres undersøkelser at rene kriterier for sammenligninger av antall var i funksjon - i alle fall til og med tremengde. Kritiske spørsmål er en av forskningens grunnpillarer, og ett av de viktigste var om Starkey *et al.* (1990) gjennom sine stillestående antallsoppsett, snarere hadde målt evne til bruk av visse perseptuelle mønstre enn medfødt mengdeoppfatning.

Van Loosbroek og Smitsman (1990) - to nederlandske vitenskapsmenn fra Catholic University of Nijmegen, ga langt på vei svar på dette spørsmålet. De påviste at 5 måneders og 13 måneders barn, ikke bare oppfattet stasjonere mengder presentert på bilder, men også mengder i bevegelse.

Abstraksjoner

Starkey *et al.* (1990), førte denne forskningen et betydelig steg videre da de oppdaget at ikke bare visualiserte mengder kunne oppfattes av babyer. Gjennom å operasjonalisere mengdekategorier ved en blanding av auditive og visuelle representasjoner, påviste de at antallsoppfattelsen ikke bare bygget på en modalitet, men på en modalitetsoverskridende abstraksjon.

En av de fremste forskerne innenfor området, Karen Wynn (1995, 1996) - University of Arizona, påviste noe senere at 6 måneders gamle barn er i stand til å overskride det å knytte mengdeoppfattelse til objekter. Gjennom ett av sine eksperimenter viste hun at medfødt evne til mengdeoppfatning også kunne knyttes til antall av handlinger. Stanislav Dehaene (1997) refererer til en lignende studie (Etienne Koechlin) i sin meget leseverdige bok "The Number Sense".

Addisjon og subtraksjon

Karen Wynn (1992) har gjennom sin bemerkelsesverdige forskning, gitt oss en ytterligere forståelse av babyers matematikkevner. Mens en tidligere har fastslått at barn kan oppfatte sammenligninger av mengder til og med 3, påviste hun at babyer på 4-5 måneder har en logisk matematisk mengdeoperasjonalisering som omfatter addisjon og subtraksjon (2-1, 1+1). De matematiske forventninger som selve antallsoperasjonen tilsa (1 dokke - så plassering av 1 dokke til inn i en boks mens barnet ser på), skaper forventning om 2 dokker i boksen - og motsatt ved subtraksjon. Ved ulogisk resultat viste barnet mye lenger oppmerksomhet mot boksen, enn ved logisk.

Generalisering

Hvor generalisert slik kunnskap er, er vanskelig å si. Professor Toni Simon ved Georgia Institute of Technology, har sammen med sine kolleger Susan Hespos og Philippe Rochat (Simon, Hespos og Rochat, 1995), gitt et bidrag som kaster noe lys over dette. På babyer

mellom 3 og 5 måneder, viser de til at antall som egenskap kan løsrives fra andre egenskaper i situasjonen. Ved å erstatte dokker med andre representasjoner, kan barna fortsatt prioritere antallsegenskapen i situasjonen.

Vi står temmelig sikkert bare ved begynnelsen til dette forskningsområdet. Det vi allerede nå kan slå fast, er at tilvante forestillinger om matematisk utvikling kan kreve en betydelig revisjon.

Number Module

Butterworth har på grunnlag av egen og andres forskning kommet fram til at mennesket (også dyr og fugler) har en medfødt "Number Module" – heretter NM - som med stor sansynlighet ligger inferiort i det parietale systemet i hjernen. NM har ifølge Butterworth to viktige funksjoner:

1. Kategorisere verden i termer av antall – i det minste små antall. Nyfødte, dyr og fugler makter dette.
2. Ordne antall etter størrelse (Hvilke av to antall som er størst).

NM fungerer automatisk og med stor hurtighet (momentant). Nyfødte oppfatter spontant mengder til og med 3 – i meste fall 4. Voksne mennesker viser seg å ha samme begrensning i sin kapasitet for visuelt materiale (at a glance). Det er imidlertid viktig å understreke at denne oppfattelsen ikke stopper ved å se forskjell på to mengder. Vi snakker her om evnen til å se hvem av dem som er størst.

Butterworth viser til en betydelig dokumentasjon på at vi er genetisk disponert for NM. Han viser også til dokumentasjon på at en manglende eller svekket NM fører til spesifikke matematikkvansker av alvorlig karakter. Det er også påvist en sammenheng mellom midlertidig funksjonsnedsettelse (lesjon) og påfølgende funksjonsbedring på NM - og tilsvarende kurve for matematisk prestasjon (Butterworth, 1999).

Utredning

Er det så mulig å avdekke en slik nevrologisk defekt?

En av Butterworth's prøver på om NM virker, er bygget opp rundt tidsbruk på oppgaver av typen 2 - 7 og 7 - 9. Gjennom å stille spørsmål om hvilke av de to tallene som er størst, vil tidsbruken hos normalfungerende bli minst der avstanden mellom tallene er størst. Det er her tale om lynrask og automatisk funksjon, der differansene er nede på tiendedels sekund. Hvis en person mangler den medfødte automatiserte antallsopfatningen, vil resultatet bli det motsatte. Dette er en av innfallsvinklene til en avdekking av dette forholdet. Det andre hovedtrekket er at tempoet går ned med opptil 4 til 5 ganger normalen når NM svikter. Butterworth har forøvrig også arbeidet med en tilpasning av Stroop-effekten i denne forbindelse (Butterworth, 1999).

Når man mangler evne til effektive overslag ved hjelp av mengdeanvendelse, står vi igjen med tidkrevende telling – og da ofte fingertelling. Denne tilstanden kan imidlertid forveksles med andre tilstander – eksempelvis ved svikt i simultan informasjonsbearbeiding. Her kompenseres manglende kognitiv simultant grep, med tidkrevende suksessjon. Det er også andre tilstander som til forveksling kan ligne på modulsvikt. En trenger derfor utredningsprosedyrer som er oppdaterte for å avdekke dette. En lokalisering av årsaken, gir oss en mulighet til å utvikle en tilpasset pedagogikk. Prognosene er som kjent vidt forskjellig alt etter hvilken svikt som foreligger.

Hovedproblemet

Et hovedsymptom ved defekt NM er en mangelfull operasjonalisering av mengdeopfattelse knyttet til tallene. Dette forhindrer ei utvikling mot en effektivisering av antalls- og tallbehandling så vel for små som for store tall, og dermed strategiutvikling for funksjonsområdet.

Vi har vel alle observert elever med mer eller mindre manglende forståelse av at tallsymbol kan operasjonaliseres i ulike mengdeforhold. Dette behøver nødvendigvis ikke å ha sin basis i en sviktende NM. Luria (1970) viser til at visse posteriore dysfunksjoner (temporalt), kan føre til et lignende symptombilde. Igjen er vi avhengig av en utredningsprosedyre for å finne hovedårsak.

Med sin begrensning på antallsoppfattelse opp til 3 – 4, er NM avhengig av et supplerende system for å utvikle en tall- og antallsoperasjonalisering utover 4-mengden.

Innen nevropsykologien har en i den senere tid vært på jakt etter hvilke eller hvilken mekanisme(r) som ekspanderer den medfødte mengdeoppfattelse mot en mer kulturbasert matematisk funksjon.

Telling

Telling er sansynligvis broen mellom menneskets medfødte antallsoppfatning og den mer avanserte matematiske funksjon i den kultur som barnet er født inn i. Sekvensialisering av telleord synes å være en praktisk konkretisering av denne broen. Barn starter telling ved 2-årsalder, og har en ferdig utviklet evne til både telling og hvordan en anvender telling ved 6-årsalder. En til en korrespondanse opptrer ved 2-årsalder uavhengig av om sekvensen av tallord er innlært. Ved 3 ½ år har barnet gjennom objekter, peking og ord utviklet en god evne til å unngå å hoppe over noe/telle noe to ganger. Barnet har fortsatt ikke full forståelse av at siste ordet i en telling representerer mengden. De kan ofte starte telling på nytt, hvis de blir spurt etter første telling, hvor mange objekter det er.

For å skjønne tellingens hjernemessige basis – og det må den jo ha hvis den skal være en bro mellom medfødt biologi og kultur, blir det viktig å analysere tellingens representasjon i hjernen. Hvis Number Module og telling er faktorene som muliggjør en kulturbasis for matematisk evne, blir det viktig å se på hva som kan svikte i selve fundamentet for sosialisering av matematisk funksjon.

Mental tall-linje

Flere vitenskapsmenn har i de senere år vært opptatt av dette spørsmålet. Skulle det kanskje også kunne være en biologisk medfødt basis for denne ekspansjonen? De kanskje mest interessante bidrag i så måte er kommet fra forskerteamet rundt professor Xavier Seron. Professor Seron (1992) som arbeider ved Louvain-universitetet i Belgia, påviste at 14% av befolkningen kan "se" en tall-linje for sitt indre øye. (Det er jo mulig at resten av populasjonen kan ha den ubevisst). Noe lignende rapporterte Galton for over hundre år siden. Tall-linjen synes å være plassert i hjernens venstre parietale inferiore system. En kan imidlertid ikke føre bevis for at denne mentale tall-linjen spiller noen rolle i evnen til å regne matematikk. Eksempelvis er de som "ser" denne tall-linjen likelig fordelt mellom personer med gode og dårlige evner i matematikk. Dessuten rapporterer personer som "ser" tall-linjen at den består av tall, i ett eller annet ordnet system. Den består for eksempel ikke av tallord. Den indre tall-linje må derfor ha noe av sin basis i lært stoff. Retningen på tallstrålen synes også å være kulturavhengig. Den synes bl.a. å følge leseretningen til den aktuelle kultur. Ser en på en eventuell praktisk bruk av linjen – eksempelvis $3 + 4 = 7$, ville en naturlig anvendelse være at 3 som linjestykke og 4 som linjestykke skulle kunne kobles sammen til et linjestykke på til sammen 7. Av alle de tilfellene som er avdekket iflg Butterworth (1999), er det bare en som har vist slik anvendelse av denne "indre" tall-linje. Seron regner da også med at de som "ser" tall-linja, får denne formet i barndommen.

Konklusjonen må bli at vi i dag ikke kjenner noen sammenheng mellom den "indre tall-linje" og ekspansjon av tall- eller antallsforhold utover 4.

Fingertelling

Brian Butterworth fremmer imidlertid en teori om hvordan tall- og mengdeoppfattelse utvikler seg over 3 eller 4. Teorien har en nevropsykologisk basis, og støtter seg til forskning.

Butterworth viser til den utstrakte bruk av fingertelling/kroppstilling i alle kulturer, og refererer bl.a. til Bede som påviser at allerede 500 år etter Kr. ble finger/håndstillinger brukt til å uttrykke tall opp til 1.000.000. Går vi opp til vår egen tid brukte eksempelvis bønder i Sentraleuropa så sent som i 1930-årene fortsatt fingermultiplikasjon på tall over 5 (Dantzig, 1962). Som vi alle vet bruker selv voksne i dag fingerstøtte i ulike matematiske situasjoner. Forklaringene på slik fingerbruk i overårig sammenheng har vært varierende og fantasirik (Butterworth antyder at fingertelling kan være en støttefunksjon, når kalkulasjonsprosedyrer kan føre til feil, og bruker seg selv som eksempel). Han viser også til at barn i alle kulturer bruker fingerrepresentasjon i sin omgang med tall- og mengdeforhold. Barn bruker fingertelling oftere enn verbal telling helt fram til 4 – 5-årsalder.

Butterworth beskriver også et utviklingsmønster i fingertellingen som er kjent fra flere kilder i litteraturen, og som synes felles for mange kulturer.

Modellen

Det som er selve poenget i hans teori, er at medfødt mengdeoppfatning på den ene siden – og handform (herunder fingerformasjon) er nært knyttet til hverandre i hjernen (begge i parietale området). Ved bruk av fingertelling forsterkes denne forbindelse – en forbindelse som kan være selve broen fra medfødt mengdeoppfatning og til en ekspansjon utover denne.

Butterworth ser for seg den grunnleggende funksjonssammenkoblingen gjennom at innledende (finger)telling med tallord sjekkes mot medfødt antallsoppfattelse. Fingrene blir på denne måten hjernens eksterne representasjon for å operasjonalisere NM utover sin antallsbegrensning og over i en kulturbasert avansert matematikkfunksjon. Han viser også til at denne prosess skjer uavhengig av direkte ytre pedagogisk inngrep.

Mens fingerrepresentasjonen ligger i den intraparietale sulcus, ligger den medfødte mengdeoppfatning i det inferiore parietale området. Etersom unge utvikler seg og utvikler

bruk av begge deler, knyttes områdene sterkere sammen både gjennom modning og funksjonsekspanasjon parietalt. Et glimrende eksempel på dette er ”Braille´s reader-finger”.

Gerstmann´s syndrom

Butterworth bruker bl.a. forskningen rundt det velkjente Gerstmann´s syndrom, til å belyse temaet. Dette syndromet har 4 hovedkjennetegn: 1. Fingeragnosi. 2. Acalculia. 3. Høyre – venstre konfusjon. 4. Agrafi.

Fingeragnosi er tradisjonelt sterkt knyttet til spesifikke matematikkvansker, og avdekking av Gerstmann´s syndrom inngår i våre utredningsprosedyrer. Dette syndromet lokaliseres for øvrig vanligvis til en funksjonsforstyrrelse i venstre parietalsystem. Nyere forskning har imidlertid nyansert dette bildet noe (Benton, 1987), bl.a. synes affeksjonen å kunne være bilateral.

7 barn med fingeragnosi

Marcel Kinsbourne og Elisabeth Warrington (1963) – Englands ledende nevropsykologer, tilførte området betydelig kunnskap da de for nesten 40 år siden undersøkte 7 barn med fingeragnosi – 2 medfødt genetisk og 5 sansynligvis skadet prenatalt/perinatalt. Alle untatt en lå minst 2 år etter sin aldersgruppe i matematikk. Alle hadde problemer med den enkleste addisjon og subtraksjon. (Iflg. Butterworth er fingrene fundamentet for utvikling av kognitiv ”moving things around” i matematikk (kalkulasjon bl.a)). Deres språk utviklet seg normalt. De lå alle innenfor normal variasjon intelligensmessig - to av dem på et meget høyt intelligenstnivå testet med standard IQ-test. Manglende fingerrepresentasjon i hjernen, viste seg her å være den sansynligste årsak til en forstyrrelse av normal matematisk utvikling. (Byron Rourke (1993) har også påvist en forbindelse mellom matematikkvansker og fingeragnosi for mange av de elevene han har utredet).

Våre funn

I vårt materiale er 37 elever med spesifikke matematikkvansker utredet med henblikk på avdekking av Gerstmann's syndrom. Fem av disse har et relativt markert bilateralt sviktmønster innenfor området fingeragnosi. To har et sviktmønster som kan lokaliseres til høyre parietale system, mens tre kan lokaliseres til venstre parietale område. Ut fra vårt materiale kan vi derfor konkludere med at ca hver fjerde elev i vår populasjon på 37, har ett eller annet sviktmønster i forhold til fingeragnosi.

Samtlige har en matematikkprestasjon målt i standard score, som varierer fra 79 – 55. En har 79, fem har fra 71 – 73, en har 66, mens tre har fra 55 – 57. Når en også tar utgangspunkt i at alle ti ligger innenfor normal variasjon når det gjelder evnenivå, er det tale om betydelige avvik mellom IQ og matematikkfaglig nivå.

Fingrenes representasjon i hjernen

Går vi nærmere inn på den nevrologiske basis for fingerrepresentasjonen i hjernen, er følgende områder representert: 1. Primære motoriske bark. 2. Primære somatosensoriske bark. 3. Cerebellum (lillehjernen) og noen andre subkortikale kretser. 4. Rissolatti's mirror cells i premotorisk bark. 5. Parietale området.

Ser en på operasjonaliseringen av dette systemet, kan en se for seg at en overordnet beslutning blir tatt i det prefrontale systemet – som deretter aktiverer de nødvendige subsystemene som er nødvendige for å sette fingerhandlinger ut i livet. De vil etter all sansynlighet starte i det parietale systemet med utformingen av hand-/fingerstillingen som så sendes til "the mirrorcells" i det premotoriske området. Her velges programmet for vedkommende handstilling ut, mens utføringen (eksempelvis hvilke fingrer som skal bøyes) skjer i den motoriske bark.

The mirror cells

Det interessante i denne forbindelse er at "the mirror cells" i det premotoriske området aktiveres av og avspeiler handstillingen parietalt. Hva som er enda mer interessant er at "the mirror cells" aktiveres også ved handstillinger som observeres hos andre personer. Dette hjerneområdet supplerer dermed den konkrete bruk av fingrene som bro til tallforhold i den ytre verden.

Det var den italienske forsker Giacomo Rizzolatti og hans kolleger ved Universitetet i Parma, som oppdaget funksjonen til "the mirror cells" (Jeannerod, Arbib, Rizzolatti og Sakata, 1995).

Vi står dermed med en utvidet kognitiv base for ekspansjon av den medfødte tall- og mengdeoppfatning. Hvis fingerrepresentasjonen i hjernen er viktig i ekspansjonen av tall- og mengdeforhold utover 4, vil en svikt i denne funksjonen også kunne lokaliseres til premotorisk område (i tillegg til øvrige nevnte områder og da særlig det parietale).

I en liten parentes kan nevnes at den kjente russiske nevropsykologen, Luria (1970, 1980), beskrev en forskjell i regneferdighet ved skader posterior i hjernen på den ene siden og i det premotoriske området på den andre. Som så mange andre observasjoner Luria noterte ned, skulle også denne vise seg å få en betydning som samtid og ettertid i over 50 år ikke kunne vurdere rekkevidden av.

Våre funn

Gjennom den betydelige datamengde som vi har samlet gjennom utredning av elever med spesifikke matematikkvansker, har det slått meg hvor mange som har dysfunksjoner i den hjernekretsen som bl.a. består av det premotoriske området, basalganglia og lillehjernen. Det er nok hevet over tvil at en dysfunksjon i dette området fører til svekkelse av prosedurale evner og evne til automatisering, men innenfor denne gruppen finner vi også elever som har vært vanskelig å kunne plassere i forhold til eksisterende forskning på området.

Intelligensnivået har noen ganger ligget høyt (som hos Kinsbourne og Warrington). De har

ofte vært rimelig velfungerende i andre fag, og det som er viktig her – de har ikke vist et sviktmønster som alene kan forklares med automatiseringssvikt og prosedurale dysfunksjoner. De har heller ikke hatt et sviktmønster med utgangspunkt i parietale funksjonsområder (fingeragnosi). Kan svaret på dette være at en svikt i utviklingen av fingerrepresentasjonen i den premotoriske del hjernen, har ført til utviklingsrelaterte spesifikke matematikkvansker? Hvis så er tilfelle, er det også sansynlig at vi står overfor et kontinuum av tilstander med utgangspunkt i en slik svikt.

Ser en på våre egne data, er det tre av gruppen med fingeragnostiske utslag (10) som har svikt også i det premotoriske området. Hvis svikt i "the mirror cells" kan skilles ut fra posteriore fingeragnostiske tilstander (og det er det grunner til å anta), vil antallet kunne være betydelig høyere.

Drøfting

Våre funn peker mot en sammenheng mellom fingeragnostiske tilstander og spesifikke matematikkvansker. Vi har også indikasjoner – selv om de er svake, som peker mot en sammenheng mellom premotoriske dysfunksjoner og fingeragnosi på den ene siden og spesifikke matematikkvansker på den andre. Dette er funn som kan peke i samme retning som Butterworth's teori om hvordan ekspansjonen av mengdeforhold over tre eller fire finner sted. Vi har ingen data på "Number Module", men når jeg tenker tilbake på de ca 70 elever med spesifikke matematikkvansker som jeg har vært med på å utrede, tror jeg at en eller to av dem kunne ha hatt en slik dysfunksjon. Den gang hadde vi ikke teknologi til å avdekke dette. På bakgrunn av våre utredningsdata har vi tidligere påvist at spesifikke matematikkvansker har en multifaktorell basis (Johnsen, 1998).

Videre sitter vi inne med data som viser at elever med spesifikke matematikkvansker har svært ulike læreforutsetninger. Denne artikkelen har satt fokus på en av mange slike

avvikende forutsetninger. Det som synes spesielt ved svikt i "Number Module", er at matematikkfunksjonen rammes spesielt alvorlig.

Referanser:

Benton, A.L. (1987). Mathematical Disability and The Gerstmann Syndrome. I Deloche, G. og Seron, X. (Eds), *Mathematical Disabilities: A Cognitive Neuropsychological Perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Butterworth, B. (1999). *The Mathematical Brain*. Macmillan, London.

Dantzig, T. (1962). *Number: The Language of Science*, 4th edn. London: George Allen & Unwin.

Dehaene, S. (1997). *The Number Sense*, Oxford University Press, Oxford.

Jeannerod, M., Arbib, M. A., Rizzolatti, G. og Sakata, H. (1995). Grasping objects: The cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends in Neuroscience*, 18. 314-20.

Johnsen, F. (1999). Noen kognitive aspekter ved matematikkvansker. *Spesialpedagogikk*, 5. 21-30.

Kinsbourne, M. og Warrington, E. K. (1963). The developmental Gerstmann Syndrome. *Annals of Neurology*, 8, 490-501.

Luria, A. R. (1970). *Traumatic Aphasia. Its syndromes, Psychology and Treatment*.

Mouton: London.

Luria, A. R. (1980). *Higher Cortical Functions in Man*. Basic Books, Inc., Publishers: New York.

Rourke, B. P. (1993). Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 26, 214-26.

Seron, X., Pesenti, M., Noël, M.-P., Deloche, G., og Cornet, J.-A. (1992). Images of numbers, or "When 98 is upper left and 6 sky blue". *Cognition*, 44, 159-96.

Simon, T. J., Hespos, S. J. og Rochat, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253-69.

Starkey, P., Spelke, E.S. og Gelman, R. (1990). Numerical abstraction by human infants. *Cognition*, 36, 97-128.

Van Loosbroek, E., og Smitsman, A. W. (1990). Visual perception of numerosity in infancy. *Developmental Psychology*, 26, 916-22.

Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749 – 750.

Wynn, K. (1995). Origins of numerical knowledge. *Mathematical Cognition*, 1, 35 – 60.

Wynn, K. (1996). Infants` individuation and enumeration of actions. *Psychological Science*, 7, 164-169.