

# DEZVOLTAREA ABILITĂȚILOR ARITMETICE LA COPIL PARTEA A II-A

Rosca Elena Cecilia<sup>1</sup>, Simu Mihaela<sup>2</sup>, Chirileanu Ruxandra Dana<sup>3</sup>

## REZUMAT

Neuroimagingul funcțional a făcut progrese remarcabile în ultimii ani și a furnizat date noi privind procesele cognitive aritmetice. Deși au fost făcute multe studii privind abilitățile aritmetice ale adulților, în prezent există doar câteva studii funcționale care investighează aceste abilități la copil. Rezultatele investigațiilor neuroimagingice privitoare la discalculie sunt variabile, însă unele constatări sunt consecvente, fiind clar în prezent faptul că în discalculie regiunile parietale prezintă o structură și funcție deficitare. Cu toate acestea, este necesară continuarea cercetărilor privitoare la corelația între diferitele aspecte ale cogniției aritmetice normale și patologice.

**Cuvinte cheie:** abilități aritmetice, discalculie, neuroimagingică.

## ASPECTE NEUROIMAGINGICE LA COPIII CU DISCALCULIE

În ultimii 20 de ani, dezvoltarea tehnicilor neuroimagingice a determinat progrese importante în domeniul neuroștiințelor cognitive, metode cum ar fi FRMN (functional magnetic resonance imaging), ERP (event-related brain potentials) și TMS (transcranial magnetic stimulation) aducând noi date asupra regiunilor cerebrale implicate în procesele cognitive. În ceea ce privește gândirea aritmetică, neuroimagingica funcțională a contribuit la extinderea cunoștințelor privitoare la procesele numerice și de calcul, începând de la procesarea magnitudinii numerelor până la calculul propriu-zis. Aceste date, coroborate cu cele obținute

de la pacienții adulți cu leziuni cerebrale au oferit o bază pentru modelele cognitive de procesare numerică și calcul aritmetic.

Cel mai influent model îl reprezintă teoria "triplului cod" propus de către Dehaene și Cohen (Dehaene & Cohen, 1995; Dehaene & Cohen, 1997; Dehaene et al., 2003). Autorii au sugerat faptul că numerele sunt reprezentate mental în 3 formate: ca o secvență de cuvinte în formatul verbal, ca o secvență de cifre arabe în formatul vizual și sub forma unei reprezentări semantice amodale a magnitudinii numerelor. Aceste 3 reprezentări sunt legate între ele prin rute de transcoding, fiind implicate în proporții variabile, frecvent în combinație, în procesele de calcul. Codul verbal este necesar extragerii din memorie a datelor aritmetice automatizate (cum ar fi adunările simple și tabla înmulțirii), codul vizual arabic este utilizat în calculele complexe cu mai multe cifre și determinarea parității numerelor, iar reprezentarea magnitudinii permite cunoașterea semantică a cantității numerice fiind utilizată în compararea numeralelor și calcul. Codul verbal are ca și substrat anatomic o vastă rețea cortico-stiato-talamo-corticală ce cuprinde ariile perisilviene stângi, girusul angular stâng și ganglionii bazali stângi. Codul vizual este deservit de către joncțiunile temporo-occipitale din ambele emisfere, iar reprezentarea magnitudinii se are loc în ariile corticale din zona șanțului intraparietal și lobii parietali superiori din ambele emisfere, regiunile din urmă fiind implicate în procesele spațiale și de atenție utilizate în reprezentarea mentală a numerelor pe așa-numita "linie numerică mentală" (pentru o sinteză a acestor date vezi Rosca, 2009a).

<sup>1</sup> Preparator Universitatea de Medicină și Farmacie "Victor Babeș" Timișoara, Clinica de Neurologie II

<sup>2</sup> Prof. Dr. Universitatea de Medicină și Farmacie "Victor Babeș" Timișoara, Clinica de Neurologie II

<sup>3</sup> Conf. Dr. Universitatea de Medicină și Farmacie "Victor Babeș" Timișoara, Clinica de Neurologie II

Adresă corespondență:  
Rosca Elena Cecilia  
E-mail: roscaecilia@yahoo.com

<sup>1</sup> MD PhD, preparer in University of Medicine and Pharmacy "Victor Babeș" Timișoara, Clinic of Neurology II

<sup>2</sup> Prof. Dr. in University of Medicine and Pharmacy "Victor Babeș" Timișoara, Clinic of Neurology II

<sup>3</sup> Conf. Dr. in University of Medicine and Pharmacy "Victor Babeș" Timișoara, Clinic of Neurology II

Correspondence address:  
Rosca Elena Cecilia  
E-mail: roscaecilia@yahoo.com

Pentru fiecare din operațiile aritmetice de bază au fost propuse substraturi anatomice diferite. Astfel, înmulțirile simple sunt considerate a fi date memorate, rezolvate prin extragerea din memorie *via* ruta directă verbală. La polul opus se află scăderile care sunt rezolvate prin manipularea magnitudinilor (printr-o ruta semantică indirectă). Adunările sunt considerate a fi bazate atât pe procesele de memorie cât și pe procesarea magnitudinii; astfel, adunările simple sunt rezolvate prin extragerea din memorie a rezultatului, iar adunările complexe (cu mai multe cifre) sunt rezolvate prin manipularea magnitudinilor. Datele privitoare la împărțiri sunt controversate; unii autori au demonstrat faptul că pentru a rezolva o împărțire este necesară accesarea înmulțirii corespunzătoare (Campbell, 1997), însă alți cercetători nu au observat o îmbunătățire semnificativă a performanțelor în rezolvarea împărțirilor după repetarea prealabilă a tablei înmulțirii (Rickard et al., 1994). Totuși, aceste rezultate ar putea fi explicate prin existența unor diferențe individuale în procesarea aritmetică (Domahs & Delazer, 2005).

Există un consens general asupra faptului că, pentru a rezolva un calcul aritmetic complex sunt necesare procesarea informației numerice (percepția, înțelegerea și producția numeralelor), procesarea semnelor aritmetice care indică o anumită operație, accesarea în memorie a datelor aritmetice (ex.  $4 \times 8 = 32$ ,  $4 + 8 = 12$ ), executarea procedurilor aritmetice care specifică secvența pașilor ce trebuie urmați în rezolvarea unui calcul cu mai multe cifre (cunoștințe procedurale) și înțelegerea principiilor aritmetice (cunoștințe conceptuale) (Sandrini et al., 2003). Recent, a fost propus drept substrat al cunoștințelor procedurale un circuit fronto-parieto-subcortical, circuitul fronto-parietal și cel fronto-subcortical fiind utilizate în monitorizarea și secvențierea pașilor necesari în rezolvarea calculului, iar circuitul parieto-subcortical fiind substratul memoriei de lucru vizuo-spațiale necesare reprezentării fiecărui pas al procedurii (Rosca, 2009b).

Deși există numeroase date cu privire la abilitățile numerice și de calcul ale adulților, în prezent au fost făcute doar câteva studii funcționale care investighează abilitățile aritmetice ale copiilor datorită limitelor de vârstă ale unor tehnici neuroimagistice. De exemplu, fRMN poate fi utilizat doar la copiii de 4 – 5 ani deoarece participanții necesită să răspundă la stimuli în mediul foarte zgomotos al scannerului.

Unul dintre primele studii funcționale care a investigat bazele neurale ale procesării numerice la copii

a fost făcut de către Temple și Posner. Ei au utilizat ERP pentru a compara activarea ariilor corticale din timpul procesării magnitudinilor numerice la copiii de 5 ani cu activarea ariilor la adulți, demonstrând faptul că atât copii cât și adulții utilizează pentru compararea simbolică și non-simbolică a magnitudinii ariile parietale (Temple & Posner, 1998). Mai mult, Isaacs și colab. au demonstrat o reducere a densității substanței albe la copiii cu discalculie comparativ cu adolescenții născuți prematur cu sau fără discalculie (Isaacs et al., 2001). În 2006, Cantlon și colab., folosind tehnici fMRI au arătat că șanțul intraparietal este activat în timpul procesării non-simbolice a magnitudinii atât la copiii de 4 ani cât și la adulți (Cantlon et al., 2006). Alți cercetători însă au constatat faptul că procesele de comparare a magnitudinilor la copiii de 9 – 12 ani se bazează mai mult pe ariile prefrontale, activarea ariilor parietale fiind mai puțin intensă și mai puțin consistentă comparativ cu adulții (Kaufmann et al., 2006). În plus, studii neuroimagistice funcționale recente au demonstrat la copiii cu discalculie o activare aberantă a șanțului intraparietal în timpul rezolvării unor procese aritmetice simbolice cum ar fi compararea numeralelor prezentate în format arabic (Kaufmann et al., 2009a; Mussolin et al., 2010). Datele privitoare la procesarea non-simbolică a numeralelor sunt însă controversate: în ciuda faptului că șanțul intraparietal a fost demonstrat a avea un rol major în procesarea magnitudinilor, există studii care raportează activări parietale similare la copiii cu și fără discalculie în timpul comparării non-simbolice a numerelor (Kucian et al., 2006). Alți cercetători însă au găsit o recrutare deficitară a șanțului intraparietal drept în discalculia dezvoltamentală (Price et al., 2007). Un studiu fMRI mai recent care a comparat procesarea non-simbolică a magnitudinii numerice la copii de 9 ani cu și fără discalculie, a arătat o activare mai puțin intensă a regiunii intraparietale drepte și o activitate neurală compensatorie în șanțul intraparietal stâng la subiecții cu discalculie (Kaufmann et al., 2009b). Autorii au interpretat datele obținute în sensul că activarea mai intensă a ariilor intraparietale stângi în discalculie ar reflecta folosirea de mecanisme compensatorii, copiii cu deficite funcționale necesitând recrutarea unei rețele de circuite mai întinse pentru rezolvarea problemelor; mai mult, activările observate au fost mai intense, pentru a compensa deficitele de procesare.

În studiile făcute cu subiecți adulți a fost demonstrat faptul că lezarea unei anumite zone cerebrale

determină tulburări specifice de calcul și procesare numerică, aceste date stând la baza diferitelor modele cognitive care au fost propuse pentru abilitățile aritmetice. O abordare similară a fost prezentă și în literatura developmentală, cea mai larg acceptată ipoteză fiind cea propusă de Butterworth, conform căreia la baza discalculiei stă o procesare a magnitudinii deficitară (Butterworth, 2005), însă în tulburările developmentale este mult mai dificil a demonstra o relație causală între deficite cognitive concomitente. Mai mult, copiii cu discalculie au doar rareori un deficit aritmetic izolat, iar discalculia a fost demonstrată a fi o tulburare heterogenă, cu patternuri de performanță diferite atât intra cât și interindividual (Dowker, 2005).

Un studiu interesant care a comparat rețelele neurale utilizate în calculul aritmetic la copii și adulți a fost făcut de către Kawashima și colab.. Astfel, utilizând tehnici fMRI ei au comparat activitatea cerebrală din timpul adunărilor, scăderilor și înmulțirilor la copii de 9-14 ani cu cele ale adulților de 40-49 de ani și au observat un pattern foarte similar, cu implicarea cortexului prefrontal, intraparietal, occipito-temporal și occipital. Au existat însă unele diferențe subtile, copiii prezentând o activare preponderentă a cortexului prefrontal stâng în timp ce la adulți au fost activate bilateral zonele prefrontale (Kawashima et al, 2004). Rivera și colab., investigând schimbările care au loc în procesarea aritmetică între vârstele de 8 și 19 ani, a arătat o descreștere cu vârsta a activării cortexului cingulat anterior și a zonelor prefrontale dorso și ventrolaterale în timpul calculelor matematice (adunări și scăderi). Autorii au sugerat faptul că pentru a atinge performanțe egale cu copiii de 19 ani, subiecții mai tineri necesită mai multă atenție și memorie de lucru (Rivera et al., 2005).

O altă metodă de a studia tulburările developmentale ale procesării numerice și calculului constă în investigarea populațiilor cu afectarea procesării aritmetice în contextul unor boli genetice cum ar fi sindromul Turner, Williams sau sindromul X fragil.

Spre exemplu, Molko și colab. au comparat modificările funcționale și structurale ale pacienților cu sindrom Turner cu subiecți de control normali și au demonstrat că la subiecții normali, o dată cu creșterea dificultății calculului, are loc o creștere a activității șanțului intraparietal în ambele emisfere; pacienții cu sindrom Turner, însă nu au prezentat astfel de modificări. Mai mult, la aceștia din urmă a fost observată o organizare structurală anormală a șanțului intraparietal (Molko et al, 2003). Acest patern de activare scăzută a fost raportat și la subiecții cu sindromul X

fragil (Rivera et al, 2002). De asemenea, Kesler și colab. a arătat că, în comparație cu subiecții de control, la copiii cu sindrom Turner au fost recrutate resurse neurale adiționale din lobii frontal și parietal pentru rezolvarea unor calcule ușoare cu 2 operanzi; pentru calculele mai dificile, cu 3 operanzi, ei au prezentat însă o descreștere semnificativă a activității lobilor frontal și parietal și a regiunilor subcorticale comparativ cu subiecții normali. Autorii au concluzionat că în discalculie, pentru rezolvarea problemelor ușoare este necesară recrutarea unor regiuni cerebrale adiționale, însă acest mecanism devine inefficient atunci când dificultatea problemei crește (Kesler et al., 2006).

O structură anormală a șanțului intraparietal stâng, cu semnificativ mai puțină substanță cenușie, a fost raportată și la adolescenții cu tulburări de calcul (Isaacs et al, 2001). De asemenea, alți cercetători care au comparat volumul substanței cenușii la subiecți cu și fără discalculie, a demonstrat că în discalculie cortexul parietal drept și regiunile frontale prezintă un volum scăzut (Rotzer et al, 2008).

Un studiu RMN și DTI (diffusion tensor imaging) recent, comparând modificările macro și microstructurale prezente la copii de 7 – 9 ani cu discalculie cu imaginile achiziționate la copii cu dezvoltare normală, a raportat modificări majore la nivelul substanței albe și cenușii în zonele care au fost raportate anterior a fi implicate în cogniția aritmetică. Analiza integrată a structurilor cerebrale prin combinarea DTI cu morfometria (voxel – based morphometry) a arătat un deficit al sistemelor vizuale ventral și dorsal. Astfel, a fost demonstrată corelația între discalculie și afectarea microstructurii substanței albe de la nivelul regiunii temporo-parietale drepte, al fasciculului fronto-occipital inferior și a fasciculului longitudinal inferior. Autorii au sugerat existența unor multiple disfuncții ale circuitelor care iau naștere într-o zonă disfuncțională de substanță albă centrală, de bază, și au propus ipoteza că discalculia are la bază un sindrom de disconexiune (Rykhlevskaia et al, 2009). Astfel, tulburările de calcul developmentale au fost asociate atât cu o structură, cât și o funcție anormală a șanțului intraparietal.

O constatare interesantă cu privire la rolul neuroimagisticii în discalculie a fost făcută însă de către Levy și colab. Aceștia au raportat cazul unui băiat de 18 ani cu discalculie severă la care, imaginile RMN convenționale nu au arătat nici o anomalie, însă spectroscopia a revelat un deficit de metabolism focal situat în zona temporo-parietală, la nivelul girusului angular (Levy et al, 1999). Acest studiu a subliniat

importanța folosirii mai multor metode pentru a investiga o anumită funcție cognitivă.

Deși studiile neuroimagistice privitoare la discalculie au furnizat date variabile, până în prezent au fost făcute unele constatări consecvente, cum ar fi faptul că discalculia are la bază o structură și funcție parietală anormală. Rolul regiunilor parietale în calculul aritmetic nu a fost însă complet elucidat.

La copii, studiile neuroimagistice contribuie la diagnosticul anumitor boli neurologice și aduce noi date în sprijinul elucidării mecanismelor dezvoltării

abilităților aritmetice, deși mai există încă multe dificultăți conceptuale și metodologice. Până în prezent, aceste studii au demonstrat faptul că în discalculie, circuitele implicate în gândirea matematică sunt afectate atât din punct de vedere structural cât și funcțional. Cu toate acestea, este necesară în continuare investigarea interrelației dintre diferitele aspecte ale cogniției aritmetice, precum și afectarea acestor abilități în scopul de a diagnostica și remedia aceste tulburări și a desfășura o predare adecvată a matematicii în școli.

## THE DEVELOPMENT OF ARITHMETIC SKILLS IN CHILDREN

### PART II

#### ABSTRACT

---

Functional neuroimaging has made remarkable progress in the last years and provided new data on numerical and calculation processes. While there is a large amount of research regarding the arithmetic skills in adults, there are currently only a few functional studies approaching the arithmetic abilities in children. Although the neuroimaging studies regarding dyscalculia have provided variable results, some consistent findings have emerged so far. It is clear now that in developmental dyscalculia there is an abnormal structure and function of parietal regions. Nevertheless, further research is needed regarding the interrelation between the different aspects of arithmetic cognition as well as the breakdown of these abilities.

**Key words:** arithmetic skills, developmental dyscalculia, neuroimaging.

#### NEUROIMAGING ASPECTS IN CHILDREN WITH DYSCALCULIA

In the last 20 years, the development of neuroimaging technologies has led to high progresses in the cognitive neurosciences domain, methods such as functional magnetic resonance imaging (fMRI), event-related brain potentials (ERP) and transcranial magnetic stimulation (TMS) enabling insights into the brain regions that are implicated in a cognitive process. Regarding the arithmetic cognition, functional neuroimaging has provided new data on numerical and calculation processes, ranging from magnitude processing to calculation. Corroborated with the evidence from adult brain-damaged patients, these data provided a basis for new neurofunctional models of arithmetic cognition.

The most influential theory is the “triple code” model proposed by Dehaene and Cohen (Dehaene & Cohen, 1995; Dehaene & Cohen, 1997; Dehaene et al., 2003). The authors suggest that numbers are represented in the human brain in 3 distinct formats: as a sequence of words in the verbal code, as a sequence of

Arabic numerals in the visual Arabic code and as analogical representations of number magnitude in the magnitude code. These 3 representations are linked by transcoding routes of various involvements, often in combination in calculation procedures. The verbal code is necessary for the retrieval of arithmetical facts (e.g. simple additions and multiplications), the visual Arabic code supports multidigit calculations and parity judgments and the magnitude code subserves semantic knowledge of numerical quantities being used in number comparisons and calculations. The verbal code has as its anatomical substrate a large cortico-striato-thalamo-cortical network comprising left perisylvian areas, the left angular gyrus and the left basal ganglia. The visual Arabic code is subserved by the temporo-occipital junction in both hemispheres. The magnitude representation is subserved by bilateral cortical areas around the intraparietal sulcus and both posterior superior parietal lobes, which are involved in the spatial and attentional processes relevant for magnitude representations of numbers along a so-called mental *number line* (for a review see Rosca, 2009a).