

Sayısal Büyüklüklerin Anlaşılmasının Bedensel Yeti ve Sistemlerle İlişkisi

II. Matematik Öğrenme Güçlüğü Kongresi
20 Eylül 2024

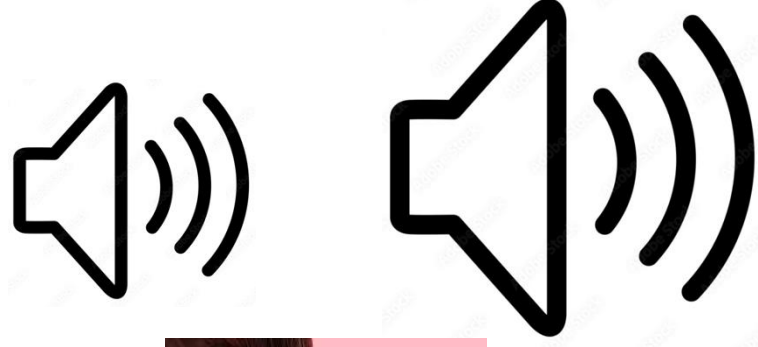
Fırat Soylu, PhD

The University of Alabama

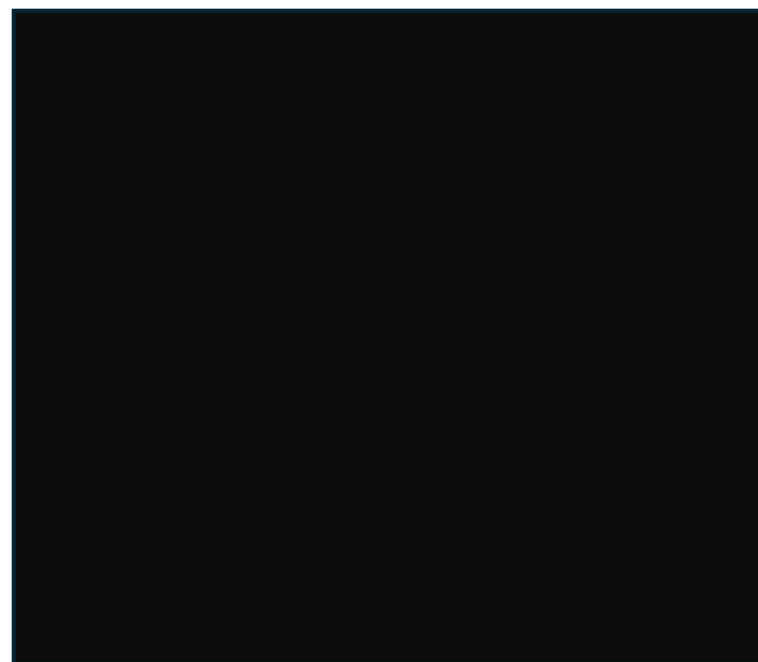
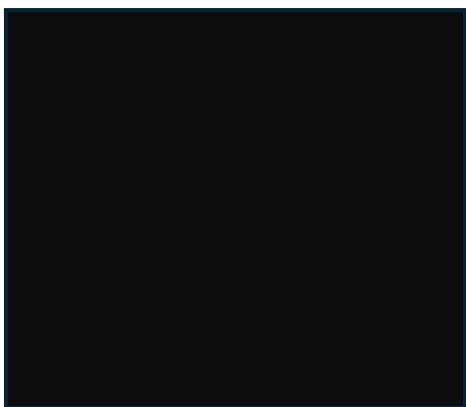
<http://fsoylu.people.ua.edu>

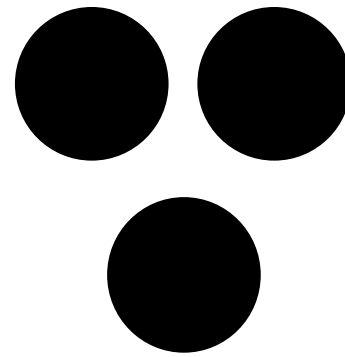
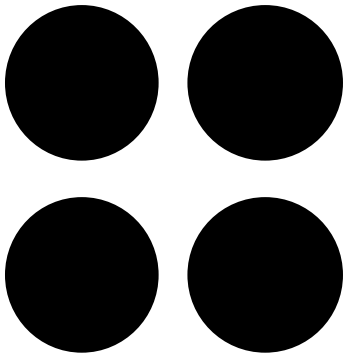
Sayısal büyüklükleri nasıl algılayabiliyoruz?

Sayısal büyüklükleri algılama ve diğer algısal-motor sistemler arasındaki ilişki nedir?



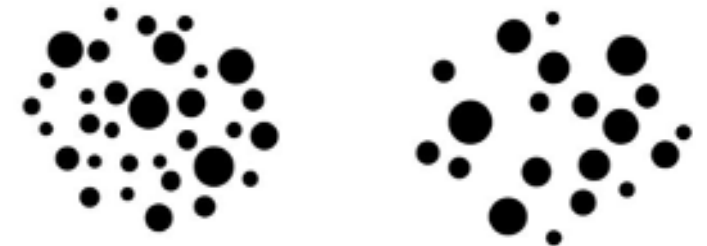
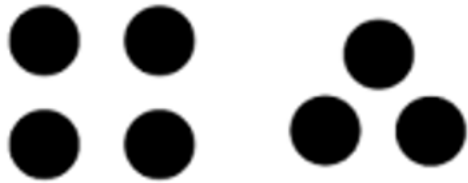
Sayısal ve fiziksel büyüklükleri
algılama ve matematik yetisi
arasındaki ilişki nedir?







3 7



(Geary, Berch, & Koepke, 2014)



⋮ ⋅ ∶ ∴ ∷ ∙ ∸ ∺ ∻ ∼

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

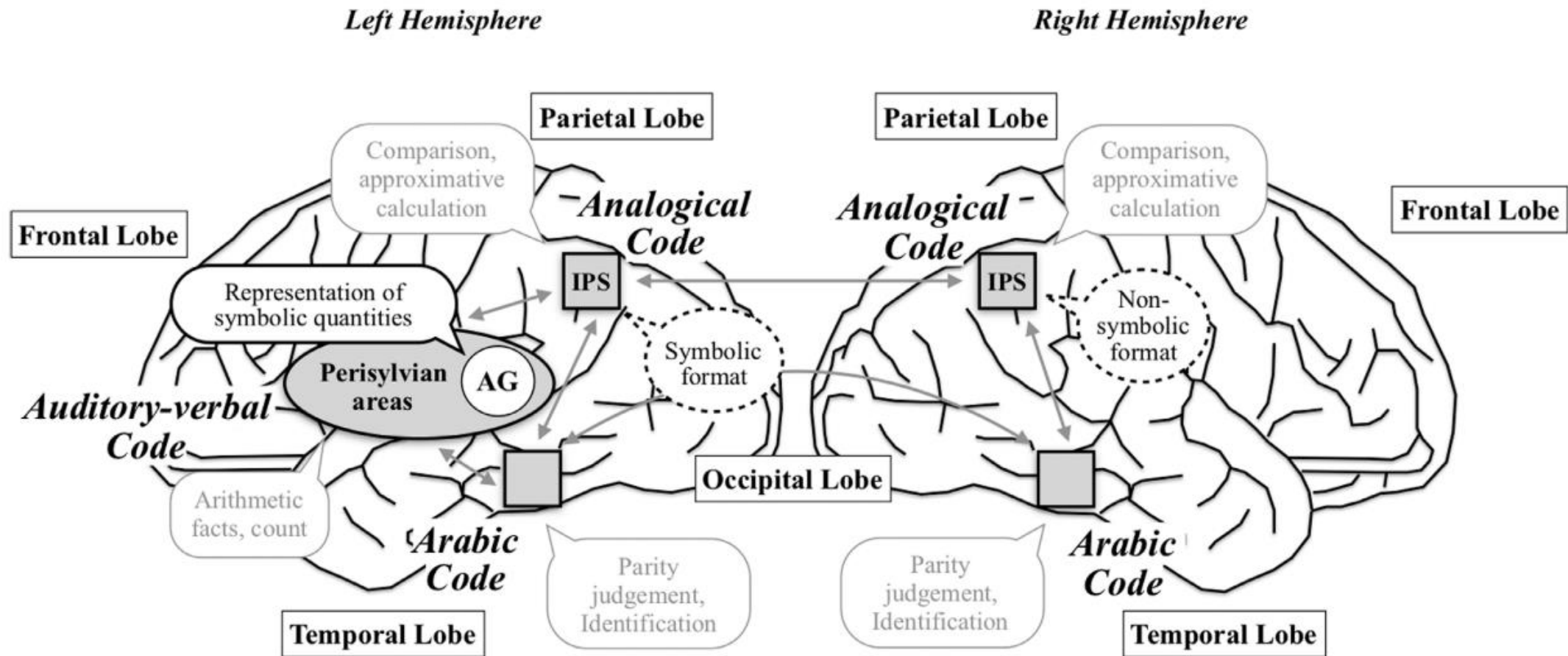
○ ๑ ๒ ๓ ๔ ๕ ๖ ๗ ๘ ๙

• ۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹

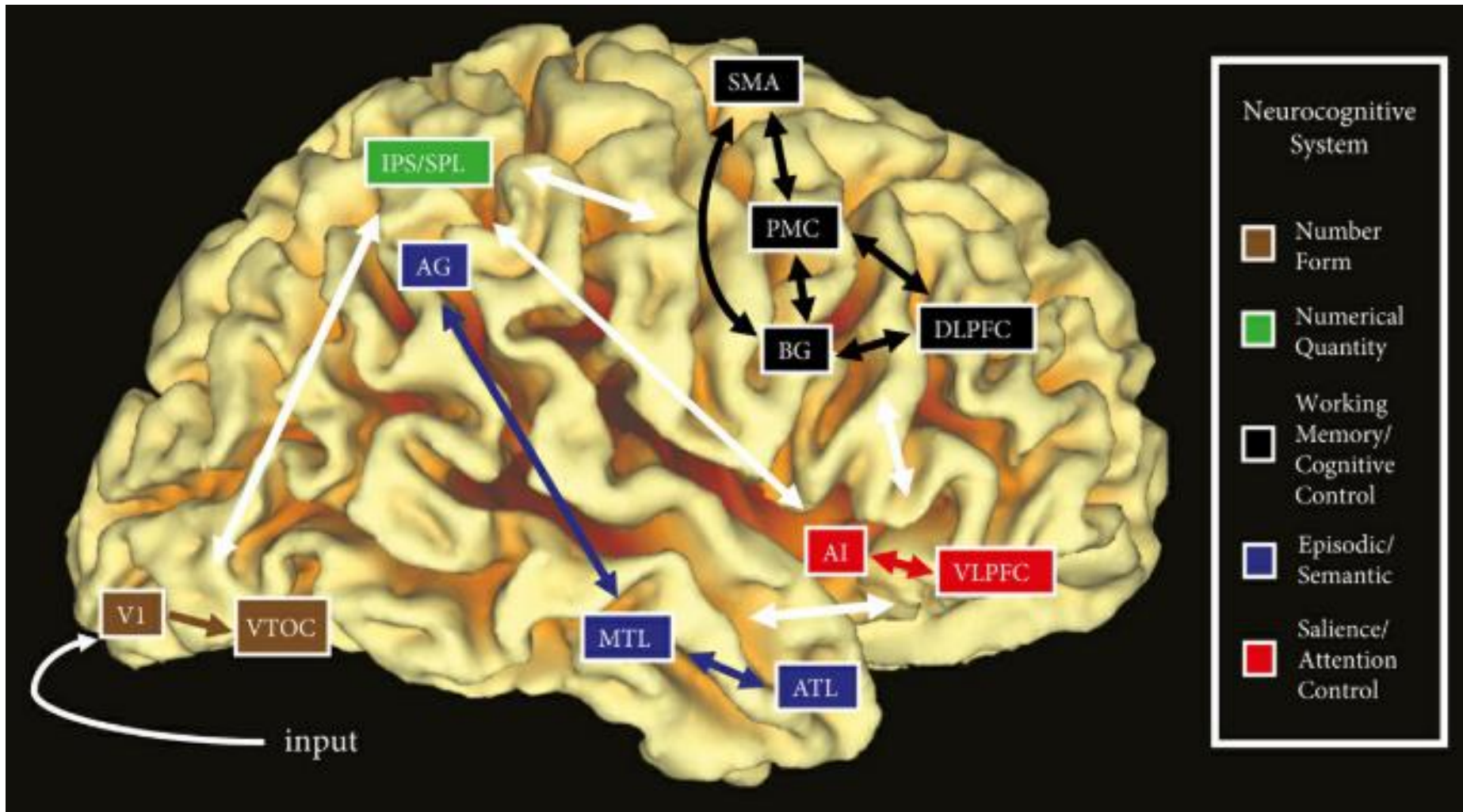
○ 一 二 三 四 五 六 七 八 九

零 壹 貳 參 肆 伍 陸 柒 捌 玖

— I II III IV V VI VII VIII IX



Faye, A., Jacquin-Courtois, S., Reynaud, E., Lesourd, M., Besnard, J., & Osiurak, F. (2019). Numerical cognition: A meta-analysis of neuroimaging, transcranial magnetic stimulation and brain-damaged patients studies. *NeuroImage: Clinical*



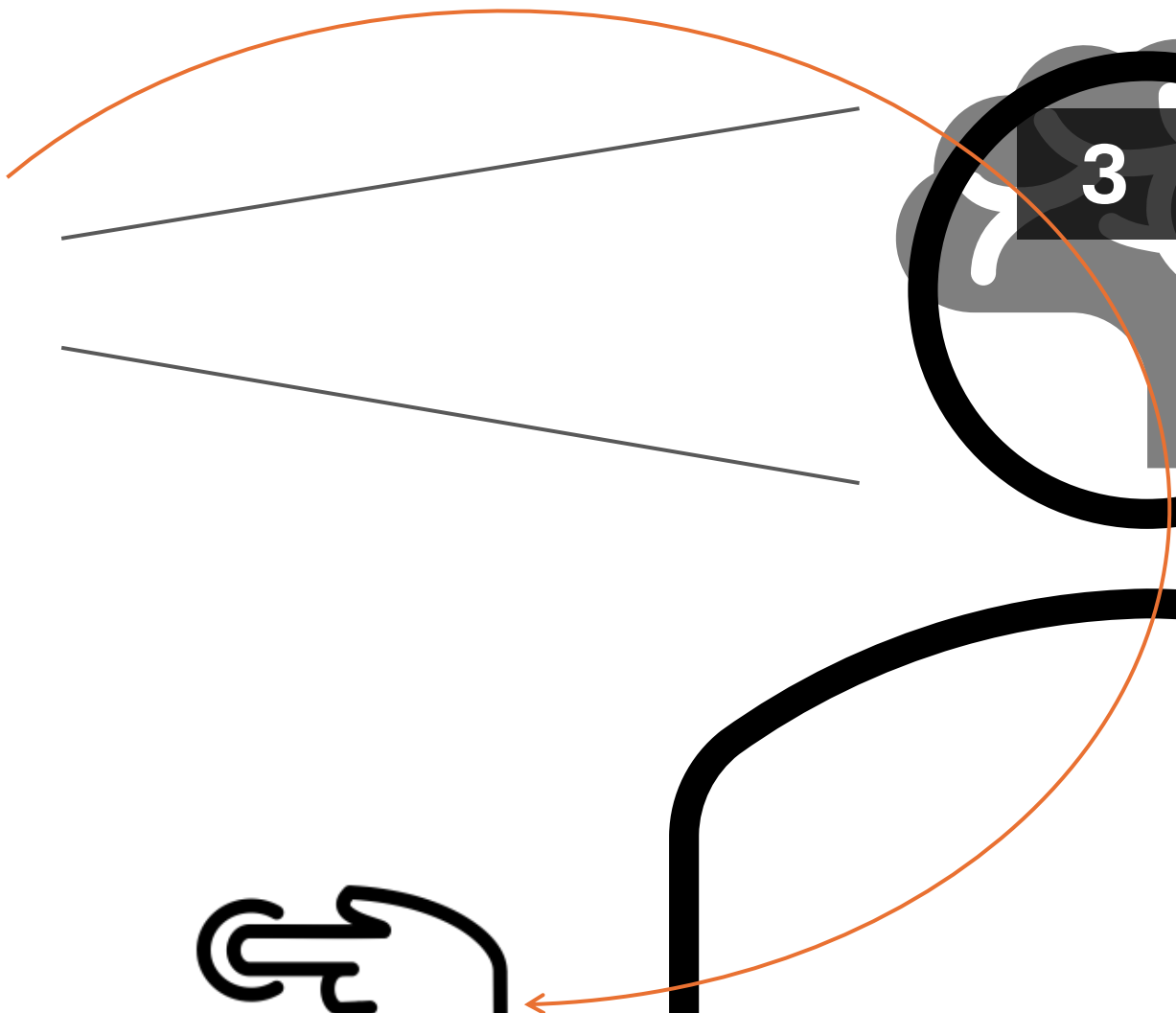
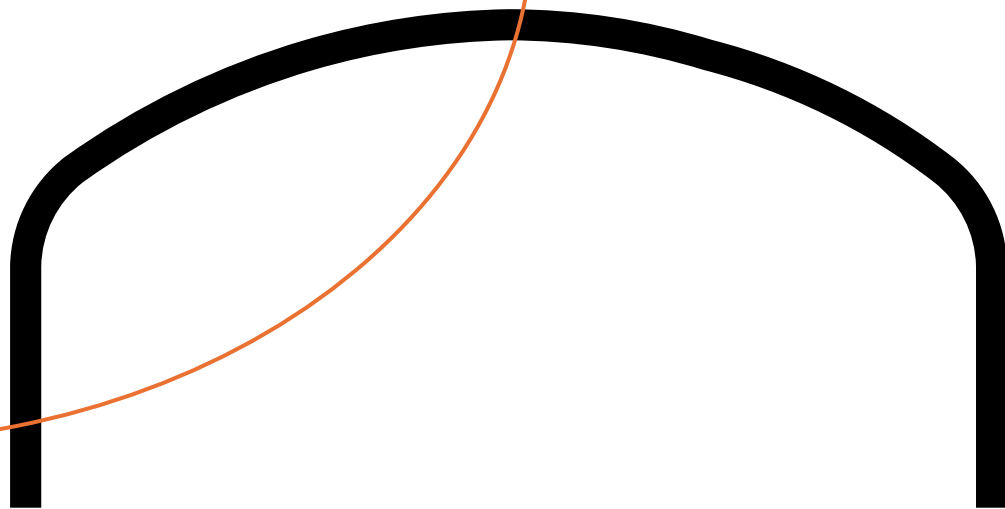
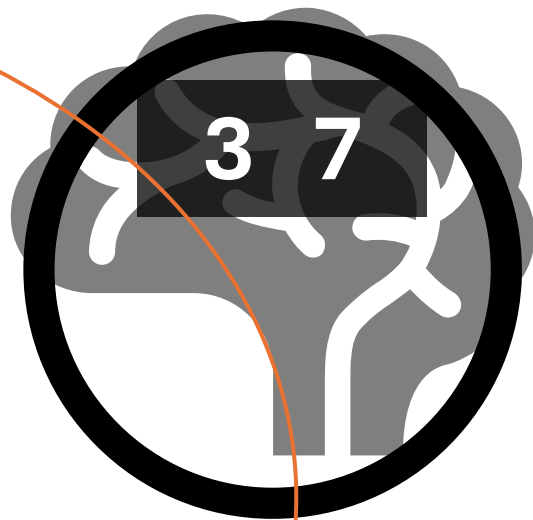
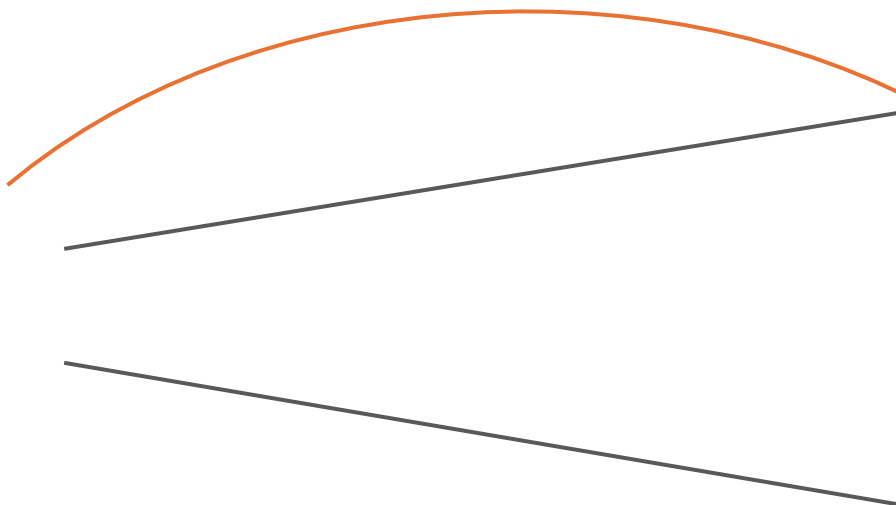
Sayısal temsiller
Sayısal çokluklar
Geçici hafıza
Bilişsel kontrol
Episodik / anlamsal
Belirginlik / dikkat kontrolü

Beyinde aritmetik için kullanılan sistemler

Menon, V. (2014). Arithmetic in the Child and Adult Brain. In R. Cohen Kadosh & A. Dowker (Eds.), *The Oxford Handbook of Mathematical Cognition* (Vol. 1). Oxford University Press.

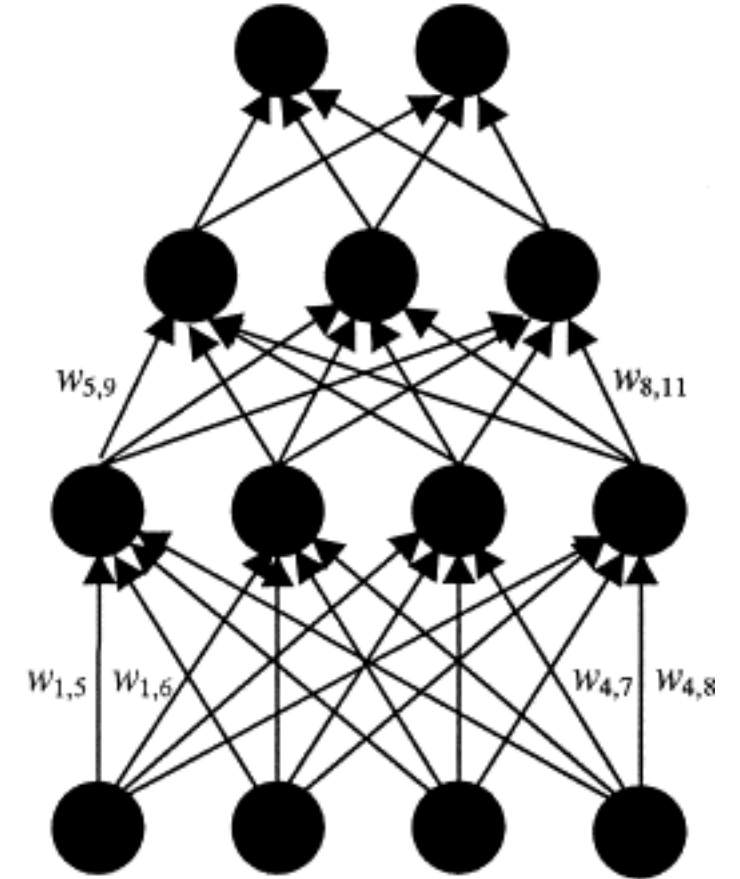
3

7



Birbirine bağılı mantıksal birimler,
farklı sayısal işlemleri
gerçekleştirebilir.

McCulloch (1961). What is a number, that a man may
know it, and a man, that he may know a number.



Beyin: Fiziksel bir sembol sistemi

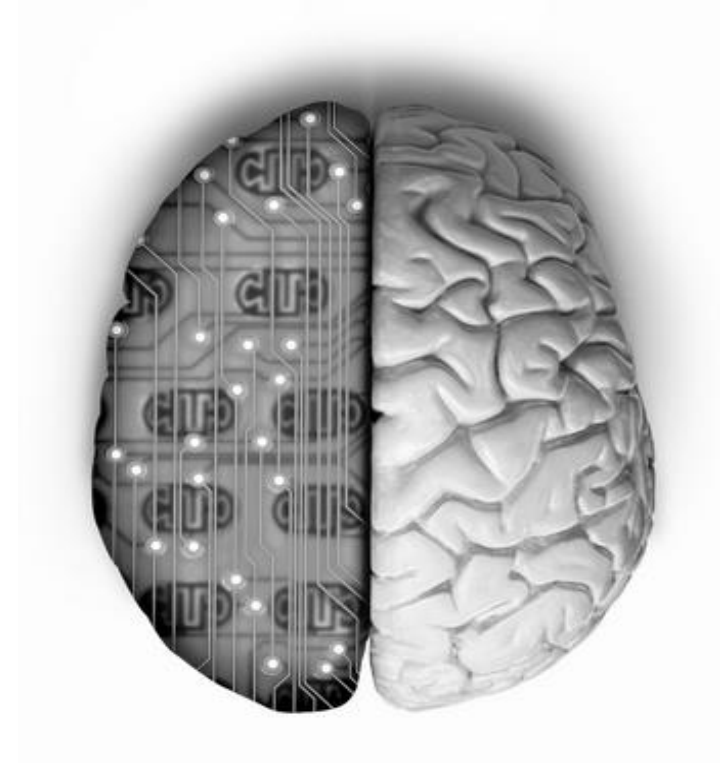
“Fiziksel bir sembol sistemi, genel zeki eylem için gerekli ve yeterli araçlara sahiptir.”

(Newell & Simon, 1976)

Bilgisayar Zihin Teorisi (CTM)

Beynin bir fonksiyonel modüller sistemi olduğu varsayımı

(Neumann, 1958)





Parmaklar ve Sayılar

Parmakları hareket ettirme (Soylu & Newman, 2016)

Parmak hissi (Soylu et al., 2018, 2019)

Parmakla sayma alışkanlıkları (Newman & Soylu, 2014)

Parmakla gösterilen sayıları algılama (Soylu et al., 2019;
Salehzadeh et al. 2023ab)

Parmak, el, ve matematik ilişkisi (Soylu et al., 2018)

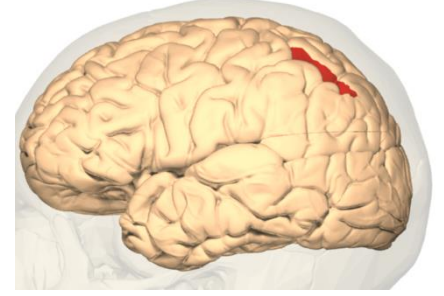
Mutlu, Y. & Soylu, F. (2018) Eğitsel sinirbilim ve bedenlenmiş biliş perspektifinden matematik öğrenme güçlüğü yaşayan öğrencilerde parmakla sayma. *Bilim, Eğitim ve Sanat Araştırmaları – Fen Bilimleri ve Matematik*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara

Büyüklikleri İşleme

- Çoklu modaliteler (başlıca görsel, ama aynı zamanda işitsel, koku alma vb.) arasında büyüklükleri tahmin etme, temsil etme ve işleme yeteneği
- Sayısal büyüklük temsiliinin öncüsü(Cohen Kadosh et al., 2008; Dormal et al., 2012; Moyer & Landauer, 1967)
- Genel büyüklük sistemi teorisi (Walsh, 2003)



Beyinde sayısal büyüklüklerin işlenmesi: IPS'in rolü



- IPS'de zaman, mekan ve sayı büyüklüklerinin işlenmesinde örtüşen aktivasyonlar (Grefkes & Fink, 2005; Yeo et al., 2015).
- Hem mutlak (örn. tam sayı karşılaştırma) hem de göreceli (kesirler, oranlar vs.) büyüklüklerin işlenmesi (Mruczek et al., 2013; Tunik et al., 2008)
- IPS aktivasyonunun sayısal mesafe etkileriyle modüle edilmesi (Uddin et al., 2010)
- IPS lezyonlarının akalkuliye neden olması (Mruczek et al., 2013)
- Çocuklarda IPS yapısal hacminin aritmetik yetilerini öngermesi (Pellicioni et al., 2021)

IPS'teki işlevsel ve yapısal anormalliklerin diskalkuli ile ilişkisi

- Sembolik olmayan sayı işlemede sağ IPS'te daha az tutarlı aktivite ve sol IPS'te telafi edici aktivite (Kaufmann et al. 2009)
- IPS aktivasyonlarının anormal modülasyonunu ve sağ IPS'de yapısal anormallikler (Molko et al., 2003)
- Diskalkuli olan çocuklarda parietal kortekste, IPS dahil olmak üzere, azalmış gri madde ve beyaz madde bütünlüğü (Rotzer, 2009)
- Superior parietal lobül ve fusiform girusda azalmış gri madde ve sağ temporal-parietal kortekste azalmış beyaz madde (Rykhlevskaia et al., 2009)

IPS bir büyüklük işleme modülü mü?

Algının eylem ile ilişkisi

*İnsanlar çevreyi, o çevrede
hareket edebilme yeteneklerine
göre algırlar.*

(Gibson, 1979)

Büyükölük işlemenin algısal-motorsal kökenleri

- Kavranması daha kolay konumlandırılmış nesnelerin daha yakın olduğu tahmin edilmesi (Linkenauger et al., 2009)
- Kavranabilir nesne boyutları el büyüklüğüne göre değerlendirilir (Linkenauger et al., 2013)
- Nesne boyutları vücut büyüklüğüne göre algılanır (van der Hoort ve ark., 2011)



Eğim, hacim, ağırlık, zaman, mesafe ve diğer faktörlerle ilgili etkiler (Philbeck & Witt, 2015)

- Ağır bir sırt çantası taşıyan deneklerin yürüdükleri mesafeleri daha uzun algılamaları
- Yorgun deneklerin yokuşların daha dik olduklarını tahmin etmeleri
- Parkut atletlerinin duvarların boyunu daha az tahmin etmeleri



Sayı işlemenin algı-eylemsel temelleri



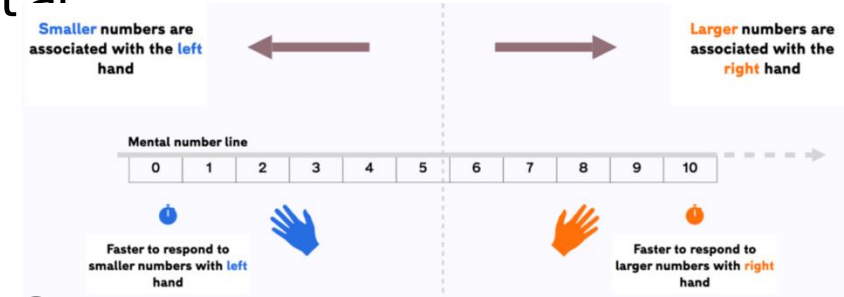
Kavrama sırasında sayısal büyüklüklerin etkisi (Andres et al. 2008; Badets et al. 2007)

SNARC etkisi (Dehaene, 1993)

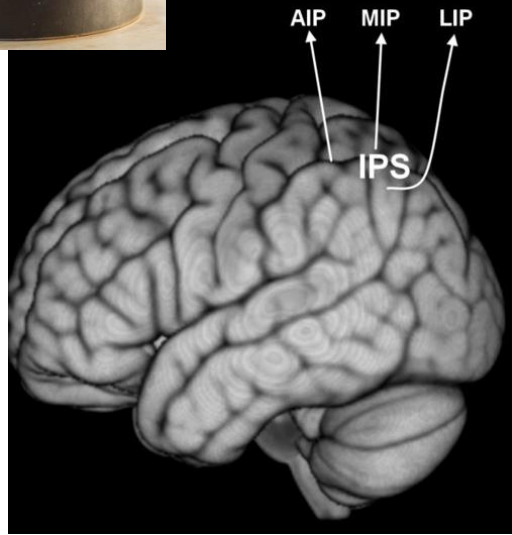
Mesafe etkisi (Moyer and Landauer, 1967)

Size-congruity effect (Henik & Tzelgov, 1982)

=> Algısal-eylemsel tabanlı ortak büyüklük işleme sistemi
(Kadosh & Walsh, 2009)



7 8 vs 2 8
3 9 vs 3 9



IPS bir büyüklük işleme modülü müdür?

Propriyosepsiyon ve nesne odaklı eylemler için çok modlu bilgilerin entegrasyonu (Grefkes & Fink, 2005)

AIP nesnelerin kavranabilir özelliklerini kodlarken, PIP eylemin deneyimsel bilgisini kodlar (Mruczek ve ark., 2013; Tunik ve ark., 2008)

IPS, korteksteki işlevsel olarak en esnek bölgelerden biridir (Yeo ve ark., 2015)

Birçok farklı algısal-motor ve bilişsel işlev için görsel, dokunsal ve motor modaliteleri entegre eden bir bölge (Uddin ve ark., 2010)

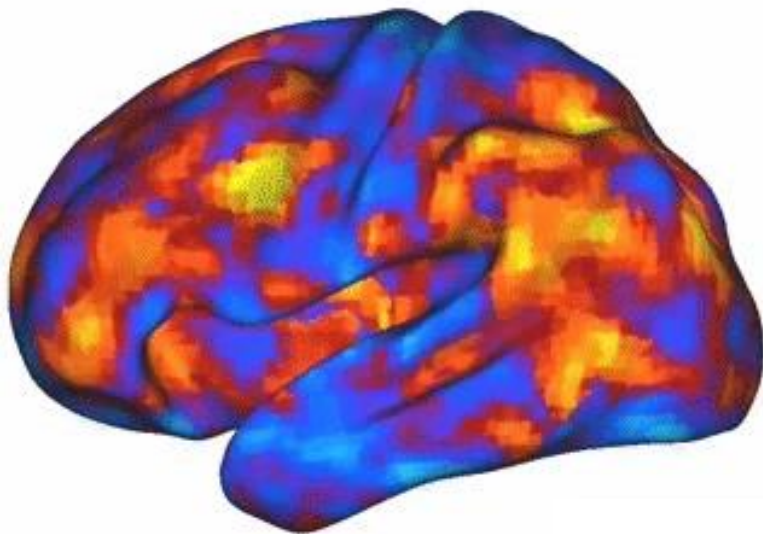
Sayısal büyüklük yetilerini nasıl anlayabiliriz?

- Okuma ve matematik gibi bilişsel beceriler hem biyolojik hem de kültürel evrimin ürünleridir (Geary, 2007; O'Shaughnessy et al., 2021)
- Bedensel etkileşimler, sayı işleme için anlamsal içerik sağlamak üzere algısal-eylemsel sistemi yapılandırır (Abrahamson, 2021; Lindemann & Fischer, 2015)
- Bilişsel işlevleri yerine getiren şey bireysel bölgeler değil, ağlardır (Pessoa, 2022; Najafi ve ark., 2016)

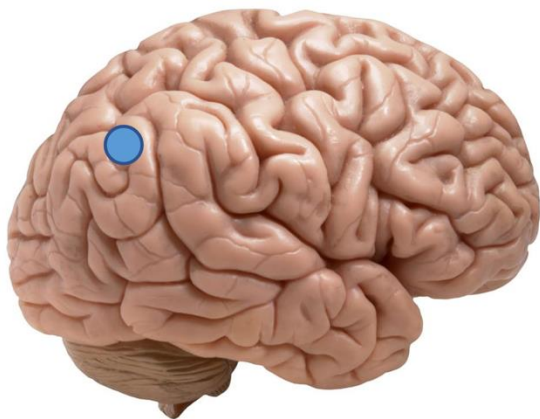
Nöral Yeniden Kullanma



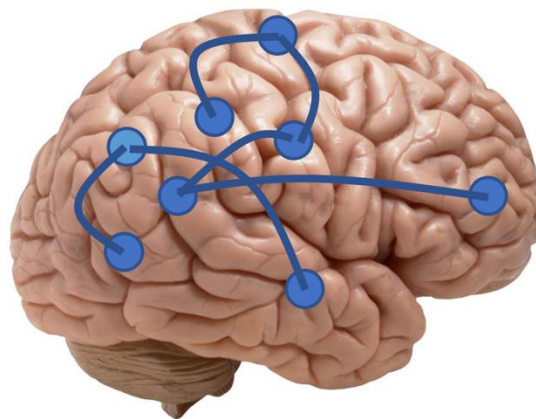
Anderson, M. L. (2014). *After Phrenology: Neural Reuse and the Interactive Brain*. MIT Press.
Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—A Missing Term in the Science of Form. *Paleobiology*



region



network

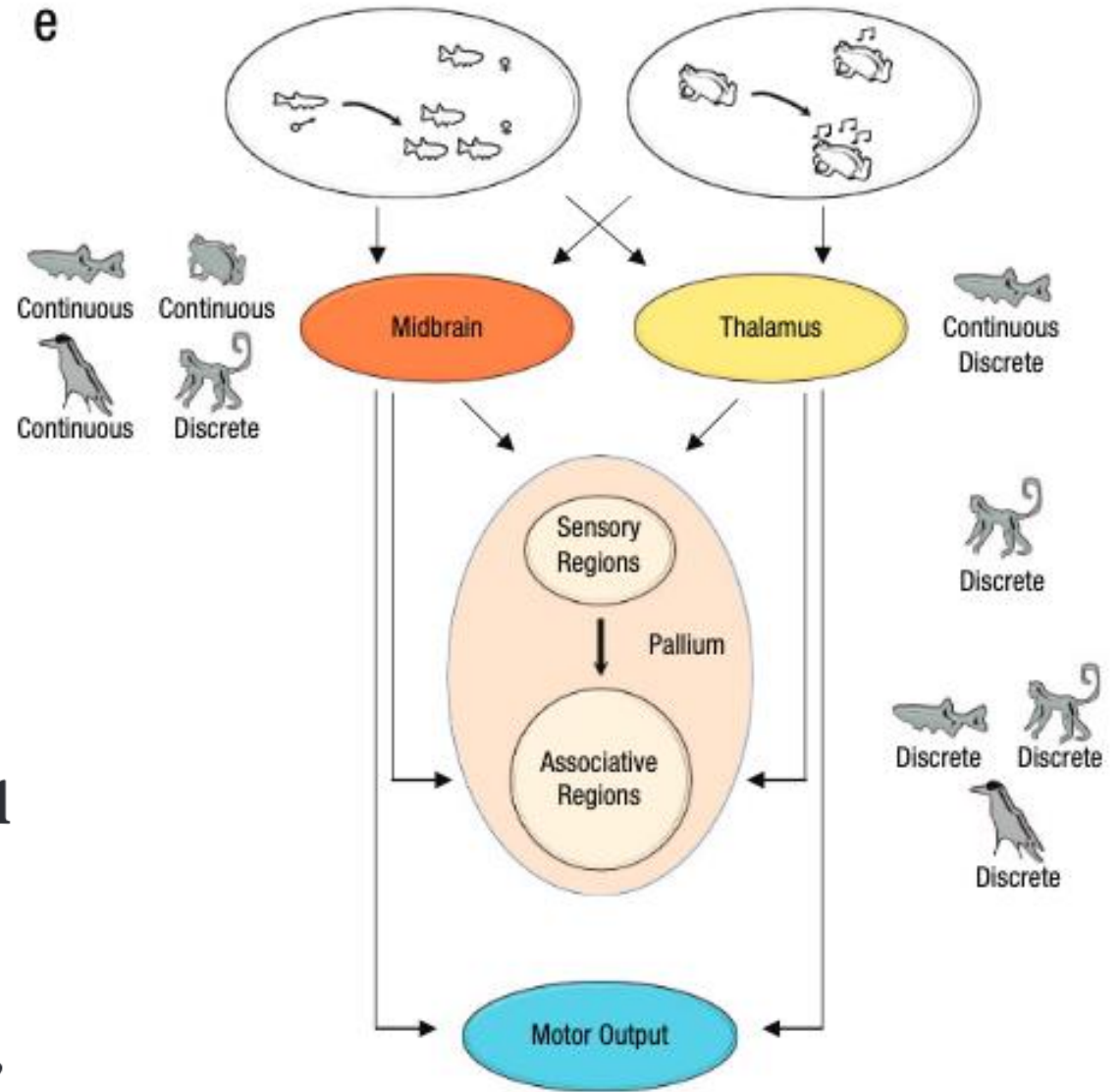


Örnek:
*Omurgalılar genelinde
büyüklük işlemenin
algısal-eylemsel modeli*

Magnitudes for Nervous Systems: Theoretical Issues and Experimental Evidence

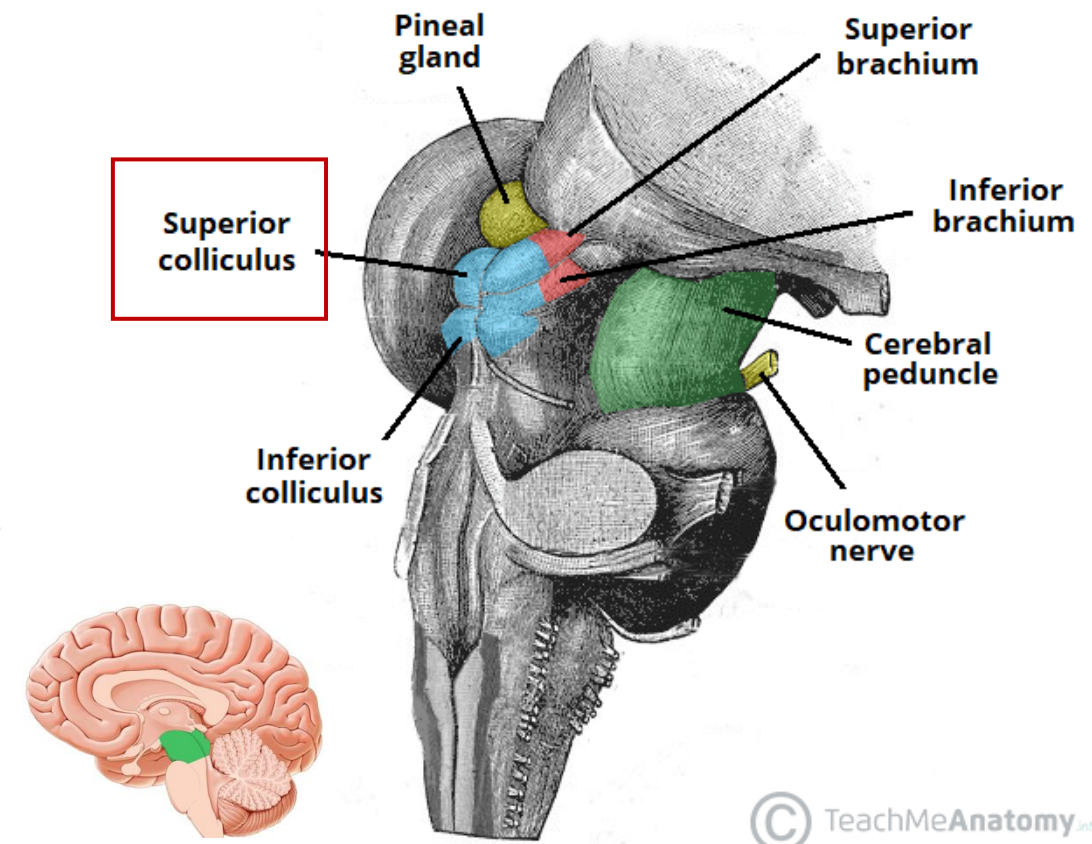
Giorgio Vallortigara , **Elena Lorenzi**, **Andrea Messina**,
and **Matilde Perrino**

Centre for Mind/Brain Science (CIMEC), University of Trento



Vallortigara et al. (2022)

A midbrain (subpallial) role in magnitude representation is suggested by the involvement of the optic tectum (superior colliculus in mammals) in size discrimination (see Fig. 1). The optic tectum, situated toward the back of the midbrain, plays a central role in interfacing sensory stimuli and behavioral motor patterns. In animals ranging from amphibians to pigeons, size selectivity emerges from neurons in the optic tectum that modulate their responses in accordance with the size of the stimulus (small or large; Preuss et al., 2014).



© TeachMeAnatomy

2020). In humans, the pathway that connects the superior colliculus with more anterior brain regions develops earlier than the pathway that connects the thalamus with the cortex, and 2-day-old human newborns, who have mainly the former pathway in use, are capable of discriminating discrete visual quantities (Izard et al., 2009).

The midbrain seems to be responsive to magnitude even in other sensory modalities. Rose (2018) found that in the torus semicircularis, a midbrain structure involved in sound perception, some neurons are selective to specific calls crucial for female toads' reproductive choice: Interval-counting neurons spike ("fire") when the number of calls reaches a certain threshold.

“Omurgalıların sinir mimarisi, standart zihinsel terimlerin sınırlarına saygı göstermez” (Pessoa et al., 2022, p. 1)

Diskalkuli üzerine çıkarımlar

- Diskalkuli ve büyüklüklerin işlenmesi arasında bir ilişki saptanmıştır, ancak diskalkuli beyindeki yerel bir modülün aksaklığı olarak yorumlanmamalıdır.
- Diskalkulinin temellerinin anlaşılabilmesi için büyüklük işlemeyi korteksteki küçük bir bölgeyle sınırlamadan, geniş çaplı ağdaki aksaklıklar değerlendirilmelidir.

Diskalkuli üzerine çıkarımlar

- Sayısal büyüklükleri işleme yetisinin algısal-eylemsel yetilerle ilişkisi üzerine yapılan çalışmalar, diskalkuli tedavisinde yeni ufuklar açabilir.
- Algısal-eylemsel sistemlerin önemi düşünüldüğünde, diskalkuli tedavilerinde, erken yaşlarda bedensel etkileşimli müdahaleler faydalı olabilir.

Sonuçlar

- Hem sayısal (sembolik ve sembolik olmayan) hem de fiziksel büyüklükler, eylem kapasitelerini öngörmek üzere evrilmiş bir sistemi kullanırlar.
- Büyüklük işleme yetilerinin anlaşılabilmesi için bu sistemlerin algısal-eylemsel rolü, evrimsel geçmişleri, ve beyinde kullandıkları (korteksle sınırlı olmayan) geniş çaplar ağlar çalışılmalıdır.

Teşekkürler!



fsoylu@ua.edu

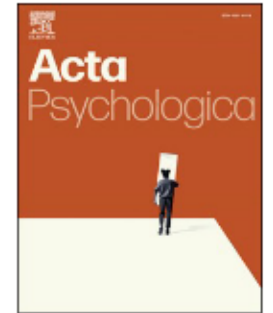
Acta Psychologica 249 (2024) 104416



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Acta Psychologica

journal homepage: www.elsevier.com/locate/actpsy



A new ontology for numerical cognition: Integrating evolutionary, embodied, and data informatics approaches

Firat Soylu^{*}

Educational Psychology Program, The University of Alabama, Tuscaloosa, AL, United States

REFERENCES

- Abrahamson, D. (2021). Grasp Actually: An Evolutionist Argument for Enactivist Mathematics Education. Human Development.
- Aliko, S., Wang, B., Small, S. L., & Skipper, J. I. (2023). The entire brain, more or less, is at work: 'Language regions' are artefacts of averaging. *bioRxiv*.
- Anderson, M. L. (2014). After Phrenology: Neural Reuse and the Interactive Brain. MIT Press.
- Anderson, M. L., Kinnison, J., & Pessoa, L. (2013). Describing functional diversity of brain regions and brain networks. *NeuroImage*.
- Andres, M., Ostry, D. J., Nicol, F., & Paus, T. (2008). Time course of number magnitude interference during grasping. *Cortex*.
- Badets, A., Andres, M., Di Luca, S., & Pesenti, M. (2007). Number magnitude potentiates action judgements. *Experimental Brain Research*.
- Beer, R. D. (2008). The Dynamics of Brain–Body–Environment Systems. In *Handbook of Cognitive Science*.
- Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W., & Conant, L. L. (2009). Where Is the Semantic System? A Critical Review and Meta-Analysis of 120 Functional Neuroimaging Studies. *Cerebral Cortex*.
- Bonner, M. F., Peelle, J. E., Cook, P. A., & Grossman, M. (2013). Heteromodal conceptual processing in the angular gyrus. *NeuroImage*.
- Buzsáki, G. (2010). Neural Syntax: Cell Assemblies, Synapsembles, and Readers. *Neuron*.
- Cisek, P. (2022). Evolution of behavioural control from chordates to primates. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Faye, A., Jacquin-Courtois, S., Reynaud, E., Lesourd, M., Besnard, J., & Osiurak, F. (2019). Numerical cognition: A meta-analysis of neuroimaging, transcranial magnetic stimulation and brain-damaged patients studies. *NeuroImage: Clinical*.
- Geary, D. C. (2024). The Evolved Mind and Modern Education: Status of Evolutionary Educational Psychology. Cambridge University Press.
- Gibson, J. J. (1979). The ecological approach to visual perception. Lawrence Erlbaum.
- Grefkes, C., & Fink, G. R. (2005). REVIEW: The functional organization of the intraparietal sulcus in humans and monkeys. *Journal of Anatomy*.
- Hadamard, J. (1945). An essay on the psychology of invention in the mathematical field. Princeton University Press.
- Hastings, J., Frishkoff, G. A., Smith, B., Jensen, M., Poldrack, R. A., Lomax, J., Bandrowski, A., Imam, F., Turner, J. A., & Martone, M. E. (2014). Interdisciplinary perspectives on the development, integration, and application of cognitive ontologies. *Frontiers in Neuroinformatics*.
- Henschen, S. E. (1919). Über sprach-, musik- und rechenmechanismen und ihre lokalisierungen im großhirn. *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie*.
- Lindemann, O., & Fischer, M. H. (2015). Embodied number processing. *Journal of Cognitive Psychology*.
- Linkenauger, S. A., Leyrer, M., Bühlhoff, H. H., & Mohler, B. J. (2013). Welcome to wonderland: The influence of the size and shape of a virtual hand on the
- Linkenauger, S. A., Witt, J. K., Stefanucci, J. K., Bakdash, J. Z., & Proffitt, D. R. (2009). The Effects of Handedness and Reachability on Perceived Distance. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*.
- Marr, D. (1982). Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. Freeman.
- McCulloch, W. S. (1961). What is a number, that a man may know it, and a man, that he may know a number. *General Semantics Bulletin*.
- Menon, V. (2014). Arithmetic in the Child and Adult Brain. In R. Cohen Kadosh & A. Dowker (Eds.), *The Oxford Handbook of Mathematical Cognition*.
- Mruczek, R. E. B., von Loga, I. S., & Kastner, S. (2013). The representation of tool and non-tool object information in the human intraparietal sulcus. *Journal of Neurophysiology*.
- Muraki, E. J., Dahm, S. F., & Pexman, P. M. (2023). Meaning in hand: Investigating shared mechanisms of motor imagery and sensorimotor simulation in language processing. *Cognition*.
- Najafi, M., McMenamin, B. W., Simon, J. Z., & Pessoa, L. (2016). Overlapping communities reveal rich structure in large-scale brain networks during rest and task conditions. *NeuroImage*.
- Neumann, J. V. (1958). *The Computer And The Brain*. Yale University Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1976). Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Communications of the ACM*.
- O'Shaughnessy, D. M., Gibson, E., & Piantadosi, S. T. (2021). The cultural origins of symbolic number. *Psychological Review*.
- Passingham, R. E., Stephan, K. E., & Kötter, R. (2002). The anatomical basis of functional localization in the cortex. *Nature Reviews Neuroscience*.
- Pessoa, L. (2022). *The Entangled Brain: How Perception, Cognition, and Emotion Are Woven Together*. The MIT Press.
- Philbeck, J. W., & Witt, J. K. (2015). Action-Specific Influences on Perception and Post-Perceptual Processes: Present Controversies and Future Directions. *Psychological Bulletin*.
- Poldrack, R. A., Halchenko, Y. O., & Hanson, S. J. (2009). Decoding the Large-Scale Structure of Brain Function by Classifying Mental States Across Individuals. *Psychological Science*.
- Sporns, O. (2011). *Networks of the Brain*. MIT Press.
- Thorndike, E. (1922). *The Psychology of Arithmetic*. Macmillan.
- Uddin, L. Q., Supekar, K., Amin, H., Rykhlevskaia, E., Nguyen, D. A., Greicius, M. D., & Menon, V. (2010). Dissociable Connectivity within Human Angular Gyrus and Intraparietal Sulcus: Evidence from Functional and Structural Connectivity. *Cerebral Cortex*.
- Vallortigara, G., Lorenzi, E., Messina, A., & Perrino, M. (2022). Magnitudes for Nervous Systems: Theoretical Issues and Experimental Evidence. *Current Directions in Psychological Science*.
- van der Hoort, B., Guterstam, A., & Ehrsson, H. H. (2011). Being Barbie: The size of one's own body determines the perceived size of the world. *PloS One*.
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind*. MIT Press.
- Yeo, B. T., Krienen, F. M., Eickhoff, S. B., Yaakub, S. N., Fox, P. T., Buckner, R. L., Asplund, C. L., & Chee, M. W. J. (2015). Functional Specialization and Flexibility in Human Association Cortex. *Cerebral Cortex*.