Web-based Interface for the Integrated Human and Monkey Cortical Connection Matrices

D.N. Kennedy[1*]; J.R. Kaiser[1]; C. Haselgrove[1]; G.M. Papadimitriou[1]; D.T. Zai[1]; S. Sorg[1]; J. Bruyere[1]; M.R. Schiller[1]; J.S. Jackson[1]; S.M. Hodge[1]; D.L. Boriel[1]; R. Piennar[1]; L. Tang[1]; V.S. Caviness Jr.[1]; E.H. Yeterian[2], N. Makris[1]

1. Dept Neurology, Athinoula Martinos Center, Center for Morphometric Analysis Massachusetts General Hospital
2. Dept. of Psychology, Colby College

Introduction

In the present study, a list of the human and a subset of monkey connections of each gyral-based cerebral cortical parcellation unit (PU) [1, 2], as ascertained from the published literature, has been compiled in matrix form and encoded in a database that can be accessed and queried through the Internet.

Methods

We attempted to encode the connectional matrix of each one of 48 cortical PUs in the human and a subset of PUs in the monkey in a PostgreSQL database. The database has a web-based graphic user interface (GUI) that allows interrogation and visualization of the matrix information. The interface is designed in Python and is accessible from any modern web browser.

Results

A functioning website (http://www.cma.mgh.harvard.edu/ibcd) for all PUs has been completed, which allows one to search the connections of specific regions. Coding of connections is: type 1 for the U-fibers and short intragyral and juxtagyral, type 2 for the medium-range intralobar, and type 3 for the long-range connections. Another feature is the ability to find the shortest path from one selected region to another. To this end, this method uses Dijkstra's algorithm to find that pathway by assessing its cost according to the weight of each connection. In this version, and for the purpose of illustration, a type 1 connection has been assigned a cost of 3, a type 2 connection has been assigned a cost of 2 and a type 3 connection has been assigned a cost of 1. We show here, preliminarily the connectivity pattern of 5 homologous PUs in the monkey and human brain. These PUs are starred in Table 1 (*).

Discussion

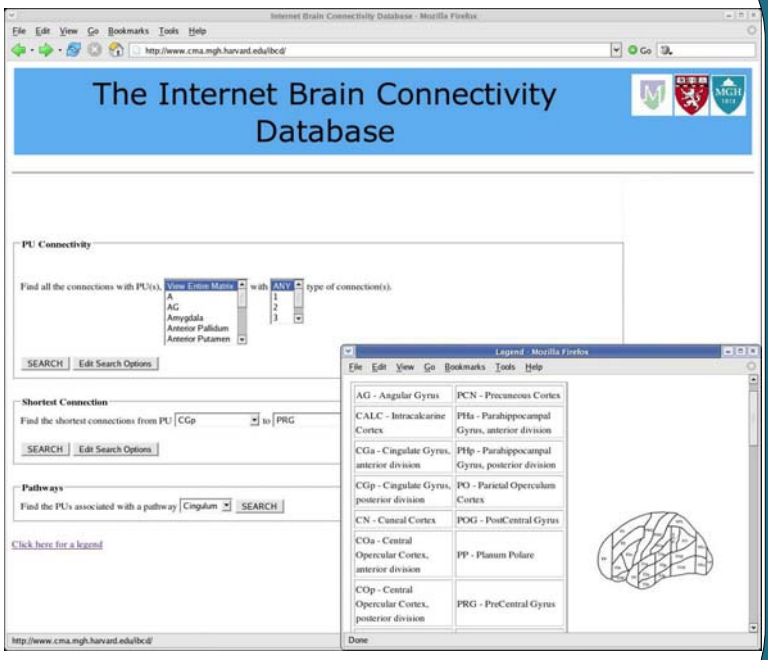
Cortical areas relate to other cortical and subcortical regions following a general scheme of connectivity, allowing for integrated functioning within the central nervous system. Knowledge of connections is relevant for formulating and testing hypotheses in cognitive and clinical neuroscience. The ability to have the human and monkey connection matrices accessible via the Internet is equally important.

References

1. Kennedy DN et al. Capturing connectional information: an MRI-based anatomical reference system. Program No. 688.8. 2005 Abstract Viewer/Itinerary Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience.

2. Stephan KE et al. Advanced database methodology for the collation of connectivity data on the macaque brain (CoCoMac). Phil Trans R Soc Lond B: Biol Sci. 2001; 356(1412): 1159-86.

Figure 1



Website interface to access connectivity database

PU	FP	F1	F2	F3o	F3t	FOC	PRG*	FMC	SC	CGa	SMC	PAC	FO	COa*	POG*	SPL	SGa	SGp	AG	COp*	PO	PCN	CGp	TP	PP	INS*	H1	PT	PHa	PHp	TFa	TFp	TOF	TO3	T3p	T3a	T1a	T2a	T1p	T2p	TO2	OLs	OLi	OP	CN	SCLC	LG	OF	CALC
FP	0	1,3	1,3	2,3	1,3	2,3	2	1,3	2,3	2,3	2,3	1,3	2,3	2	0	3	3	3	3	0	3	3	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1	1,3	0	1,3	2	2,3	2,3	1	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	2,3	2	0	3	0	0	3	0	0	3	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	1,3	1,3	0	1	1,3	2,3	1	2,3	2,3	2,3	2	2,3	2,3	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F3o	2,3	2	1	0	1,3	2,3	1	2,3	2,3	2,3	2	2,3	1,3	1	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F3t	1,3	2,3	1,3	1,3	0	1,3	2	2,3	2,3	2,3	2	2,3	1,3	2	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FOC	1,3	2,3	2,3	2,3	1,3	0	2	1,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRG*	2	1	1	1	2	2	0	2	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FMC	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	2	0	1,3	2,3	2,3	1,3	2,3	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	2	1,3	0	1,3	2,3	1,3	2,3	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CGa	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1	2,3	1,3	0	1,3	1,3	2,3	2	0	0	0	0	3	0	0	0	1,3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SMC	2,3	1,3	2	2	2	2,3	1	2,3	2,3	1,3	0	1,3	2	2	0	0	0	0	3	0	0	0	1,3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAC	1,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2	1,3	1,3	1,3	1,3	0	2,3	2	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FO	2,3	2,3	2,3	1,3	1,3	2,3	2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	0	1	0	0	3	3	0	0	0	3	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COa*	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
POG*	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SPL	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	1	1	1	2	2	1,3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0	0	0	0	0	0
SGa	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1	0	1,3	2	1	1,3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SGp	3	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	1	1,3	0	1	2	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AG	3	3,4	3	0	0	3	0	3	3	3	3	3	3	0	2	1	2	1	0	2	2	2,3	2,3	3	3	0	3	3	3	3,4	3,4	3,4	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	1,3	1,3	1,3	3	3	0	3	3
COp*	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	2	2	0	1	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	2	1,3	1,3	2	1	0	2	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCN	3	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1,3	2	2	2	2	0	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	3	0	1,3	1	1	0
CGp	3	3	0	0	0	3	1	3	3	3	1,3	3	3	0	2	2	2	2	2	1,3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TP	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1,3	1,3	2,3	2,3	1,3	2,3	1,3	2,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
PP	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1,3	0	1,3	2,3	2,3	1,3	2,3	1,3	2,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
INS*	3	3,4	3	3	3	1,3	0	3	3	3,4	3	3	3,4	1,3	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1,3	1,3	0	2	2	1,3	2	1,3	2,3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
H1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	1,3	2	0	1,3	2	2	2,3	2,3	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PT	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	1	3	3	0	0	0	2,3	2,3	1,3	1,3	0	2,3	2	2,3	2,3	2	2	2	2	2	1,3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PHa	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	1,3	2,3	2	2,3	0	1,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
PHp	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1,3	0	2,3	2	2,3	2	2,3	1,3	0	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
TFa	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	0	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
TFp	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	1,3	0	1,3	1,3	1,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
TOF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2,3	2	2	2	2	2,3	1,3	2,3	1,3	0	1,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
TO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2,3	2	2	2	2	2,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
T3p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2,3	2	2	2	2	2,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0	1,3	2,3	2,3	2,3	1,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
T3a	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1,3	2,3	2,3	2	2	2,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0	1,3	2,3	2,3	1,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
T1a	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	0	1,3	1,3	2,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
T2a	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1,3	2,3	2,3	2	2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	0	1,3	1,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
T1p	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2,3	1,3	2,3	2,3	1,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	1,3	0	1,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
T2p	3	3	0	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2,3	2,3	2,3	2	2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	1,3	0	1,3	3	3	3	3	0	1,3	1,3	3	3
TO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2,3	2	2	2	2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,3	0	1,3	1,3	3	0	1,3	1,3	3	3
OLs	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0	0	1,3	0	0	1,3	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OLi	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0	0	1,3	0	0	3	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CN	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1,3	3	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SCLC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3	0	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CALC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Key for '3' Connections:
A - ILF C - OF E - UF G - SLF II I - AF
B - Cingulum D - EmC F - SLF I H - SLF III J - MdLF

*: Homologous PU in humans and monkeys

Table 1: Comprehensive Cortico-Cortical Connectivity Matrix