

Kertas Asli/Original Articles

Kesan Daya dan Laju Tepikan Jari ke Atas Pengaktifan Korteks Berkaitan Motor (The Effects of Tapping Force and Speed on the Activation of Motor-related Cortices)

AHMAD NAZLIM YUSOFF

ABSTRAK

Kajian pengimejan resonans magnet kefungsi (fMRI) subjek tunggal ini menyelidiki kesan daya dan laju tepikan ke atas sifat pengaktifan korteks berkaitan motor semasa tepikan jari rentak sendiri secara bilateral. Subjek melakukan empat cara tepikan jari rentak sendiri iaitu sentuh-perlahan (SP), sentuh-laju (SL), tekan-perlahan (TP) dan tekan-laju (TL) dalam satu imbasan fMRI. Model linear am (GLM) digunakan dalam penjaan pengaktifan otak. Pentaakulan statistik kemudiannya dibuat mengenai pengaktifan otak menggunakan teori medan rawak (RFT) Gaussian pada aras keertian diperbetulkan ($\alpha = 0.05$), dengan andaian tiada pengaktifan berlaku. Keputusan mendapati otak mengkoordinasi tepikan jari bilateral rentak sendiri dengan penglibatan korteks berkaitan motor iaitu girus presentral (PCG) bilateral, serebelum bilateral dan juga kawasan motor tambahan (SMA). Peningkatan daya tepikan menonjolkan pengaktifan yang bererti ($p < 0.05$ diperbetulkan) pada PCG bilateral (Kawasan Brodmann (BA) 6) sejajar dengan fungsinya dalam mencetus tindakan motor seperti mengawal daya tepikan. Peningkatan laju tepikan pula menyebabkan peningkatan pengaktifan otak secara bererti ($p < 0.05$ diperbetulkan) hanya pada korteks kesatuan somatoderia iaitu pada lobus parietal superior (SPL) kanan atau BA7 kanan. Ini mencadangkan bahawa SPL memainkan peranan penting dalam mengkoordinasi pergerakan berkemahiran terancang.

Kata kunci: Tepikan jari, Kawasan konteks spesifik, Parameter hemodinamik, Lobus parietal superior, Girus presentral

ABSTRACT

This single participant functional magnetic resonance imaging (fMRI) study investigates the effects of tapping force and speed on the activation characteristics in motor-related cortices during bilateral self-paced tapping of hand fingers. The participant performed four types of self-paced hand finger tapping which are soft-slow (SS), soft-fast (SF), hard-slow (HS) and hard-fast (HF) in an fMRI scan. A general linear model (GLM) was implemented in generating brain activation. Statistical inferences were then made about the brain activations using Gaussian random field theory (RFT) at corrected significant level ($\alpha = 0.05$), given that there is no activation. The results indicate that the brain coordinates bilateral self-paced tapping of hand fingers with the involvement of motor-related cortices which are bilateral precentral gyrus (PCG), bilateral cerebellum and supplementary motor area (SMA). The increase in tapping force accentuate significant activation ($p < 0.05$ corrected) in bilateral PCG (Brodmann Area (BA) 6) in accordance with its function in triggering motor action such as controlling the tapping force. The increase in tapping speed causes a significant ($p < 0.05$ corrected) increase in brain activation only in somatosensory associated region in the right superior parietal lobule (SPL) or right BA7. This suggests that SPL plays important roles in coordinating purposeful, skilled movements.

Keywords: Finger tapping, Context specific region, Hemodynamic parameters, Superior parietal lobule, Precentral gyrus

PENDAHULUAN

Sejauh mana korteks berkaitan motor individu sihat berfungsi mengawal atur pergerakan anggota badan masih terus menjadi tajuk kajian para penyelidik sehingga kini. Ini adalah kerana, organisasi kefungsi kawasan korteks berkaitan motor manusia yang merangkumi sifat pengkhususan dan persepaduan kefungsi kawasan tersebut masih belum difahami sepenuhnya. Antara faktor yang mempengaruhi organisasi kefungsi kawasan korteks berkaitan motor adalah usia (Boudrias

et al. 2012; Park et al. 2012), kedominanan tangan (Park et al. 2012) dan kelateralan iaitu anggota di sebelah mana yang bergerak (Yusoff et al. 2010; Ahmad et al. 2011). Peningkatan usia menyebabkan pengaruh kawasan motor primer kontralateral (cM1) ke atas kawasan motor primer ipsilateral (iM1) turut meningkat (Boudrias et al. 2012).

Kajian ke atas subjek tunggal ini dijalankan dengan memberi fokus kepada sifat pengaktifan otak yang teretus akibat kawalan otak ke atas tepikan jari secara bilateral. Tepikan jari yang digunakan adalah tepikan mengikut rentak sendiri yang menggunakan daya dan laju tepikan sebagai

faktor uji kaji. Satu tinjauan terperinci mengenai gerakan anggota atas secara bilateral, khususnya tangan dan jari, telah diberikan oleh Franz (2003). Kajian beliau yang merangkumi bukan sahaja subjek normal bahkan pesakit yang telah menjalani pembedahan korpus kalosum dan pesakit kudung antara lain mendapati penglibatan kawasan korteks berkaitan motor dan beberapa kawasan kognitif lain dalam menghasilkan gandingan ruang berbentuk abstrak semasa tugas khusus yang dilakukan oleh tangan tertentu.

Dengan menggunakan teknik pengimejan resonans magnet kefungsi (fMRI), ciri pengaktifan korteks berkaitan motor semasa subjek melakukan tugas tepikan jari rentak sendiri secara bilateral diselidiki. Secara khusus, kajian ini 1) menentukan kawasan korteks yang mengalami pengaktifan bererti yang lebih tinggi semasa tepikan dengan daya berbanding tepikan dengan sentuhan, 2) menentukan kawasan korteks yang mengalami pengaktifan bererti yang lebih tinggi semasa tepikan laju berbanding tepikan perlahan dan 3) menentukan ketinggian isyarat kawasan korteks yang mengalami pengaktifan tersebut.

KAEDAH UJI KAJI

SUBJEK

Imbasan pengimejan resonans magnet kefungsi (fMRI) dilakukan ke atas seorang subjek lelaki Melayu sihat berumur 41 tahun dominan tangan kanan semasa ujian pasca pemasangan sistem MRI 3T (Model Siemens Magnetom Verio) di Jabatan Radiologi, Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia. Subjek bersetuju untuk mengambil bahagian dengan mengisi dan menandatangani borang persetujuan menyertai kajian, selepas diberi penerangan lengkap mengenai uji kaji yang akan dilalui dan kemungkinan risiko yang bakal dihadapi. Subjek kemudiannya ditemubual bagi mengetahui keadaan kesihatannya sebelum sesi imbasan bermula. Temu bual tersebut khususnya adalah untuk mengetahui sejarah kesihatan subjek bagi memastikan subjek tidak menghidap sebarang penyakit atau mempunyai pacakan (implan) yang boleh membahayakan subjek semasa imbasan fMRI dijalankan. Kekidalan subjek juga diuji menggunakan Inventori Kekidalan Edinburgh (Oldfield 1971) sebelum imbasan bermula. Penyelidikan ini dijalankan di bawah kelulusan Jawatankuasa Etika Penyelidikan UKM (No Rujukan: NN-197-2010).

PARADIGMA UJI KAJI

Subjek dikehendaki menepik ibu jari secara bilateral menggunakan keempat-empat jari yang lain apabila mendengar arahan mula, bermula dengan tepikan jari kelingking terhadap ibu jari dan seterusnya jari-jari lain terhadap ibu jari. Tepikan jari kedua-dua tangan kanan dan kiri adalah serentak atau sefasa. Aktiviti ini berterusan dan diulang dengan tepikan jari kelingking terhadap ibu jari semula dan seterusnya sehingga arahan berhenti

diberikan (Yusoff 2013). Kajian ini menggunakan tepikan jari rentak sendiri iaitu subjek dikehendaki melakukan empat cara tepikan iaitu 1) sentuh-perlahan (SP), 2) sentuh-laju (SL), 3) tekan-perlahan (TP) dan 4) tekan-laju (TL). "Sentuh" bermaksud subjek menepik jari secara sentuhan sahaja manakala "tekan" bermaksud daya sederhana kuat dikenakan antara jari yang menepik dengan ibu jari. Untuk "perlahan", tepikan adalah sekitar 2 kali dalam satu saat dan untuk "laju" sekitar 4 kali dalam satu saat. Subjek dibenarkan membuat latihan sebelum menjalani imbasan fMRI untuk memperolehi rentak tepikan yang konsisten iaitu dari segi kelajuan (laju atau perlahan) dan tekanan (menekan atau menyentuh) tepikan yang diperlukan untuk kajian ini. Pemantauan dilakukan semasa subjek berlatih menepik untuk memastikan gaya tepikan subjek adalah berbeza antara tepikan perlahan dan tepikan laju dan antara tepikan menekan dan tepikan menyentuh. Peranti pengukur tidak digunakan untuk menentukan daya dan laju tepikan jari subjek untuk membolehkan tepikan dilakukan secara rentak sendiri (voluntari). Fon telinga dipakai oleh subjek sepanjang sesi imbasan untuk menerima arahan.

Keempat-empat jenis tepikan SP, SL, TP, TL dilakukan secara bergilir-gilir oleh subjek berpandukan arahan yang diberikan secara auditori iaitu SEDIA (disebut jenis tepikan yang perlu dilakukan subjek)...MULA dan BERHENTI. Subjek diminta mengulang semula tepikan secara SP, SL, TP, TL setelah satu kitar dilengkapkan. Satu paradigma jenis blok aktif-rehat 24 kitar digunakan dalam kajian ini (Yusoff 2013). Untuk keadaan aktif (tepikan dilakukan) sebanyak 20 pengukuran dilakukan manakala untuk keadaan rehat (subjek rehat) sebanyak 10 pengukuran dilakukan menjadikan keseluruhannya 80 pengukuran untuk setiap jenis tepikan dan 160 pengukuran untuk keadaan rehat. Jumlah pengukuran untuk setiap sesi imbasan adalah 480.

PEMROSESAN DATA fMRI

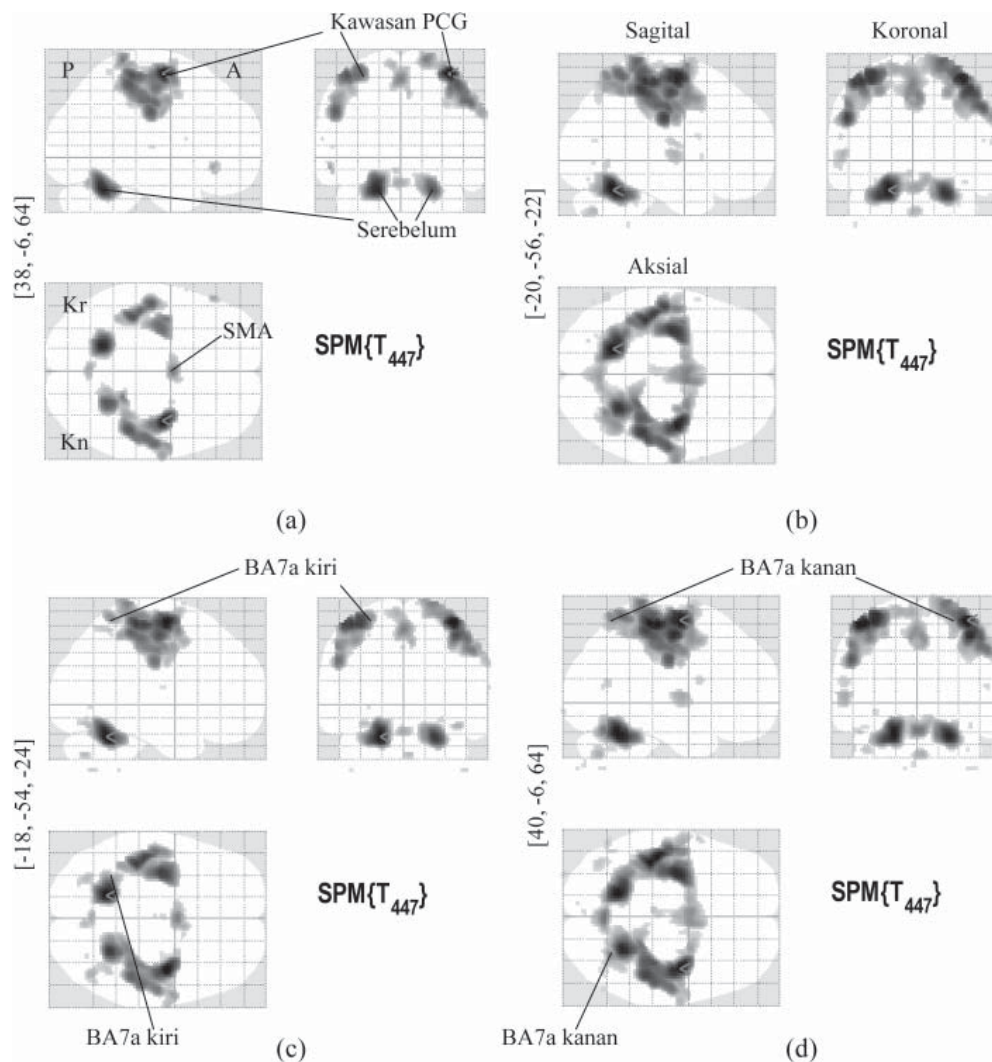
Analisis imej dijalankan menggunakan perisian Pemetaan Statistik Berparameter SPM8 (Functional Imaging Laboratory, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, Universiti College of London) yang menggunakan perisian MATLAB 7.4 versi 2007a (Mathworks Inc., Natick, MA, USA) sebagai pelantar. Kawasan otak yang mengalami pengaktifan untuk setiap cara tepikan SP, SL, TP dan TL diperolehi pada aras keertian yang diperbetulkan untuk mengawal ketakpastian yang diakibatkan oleh kelompok atau keluarga (famili) voksel atau *family-wise error* (FWE) iaitu pada nilai $\alpha = 0.05$ (Brett et al. 2004). Anatomi bagi kawasan pengaktifan otak yang diperolehi disahkan menggunakan perisian Anatomy (Eickhoff et al. 2005). Perbandingan antara pengaktifan otak yang terhasil daripada keempat-empat cara tepikan jari dibuat bagi menentukan sama ada wujud ataupun tidak perbezaan dalam keamatan dan bilangan voksel yang mengalami pengaktifan akibat laju tepikan dan daya tepikan yang meningkat. Ini dilakukan secara berasingan bagi setiap data rentak sendiri dengan daya yang sama bagi

menentukan kesan peningkatan laju tepikan dan dengan laju yang sama bagi menentukan kesan peningkatan daya tepikan. Aras keertian untuk perbandingan ini ditetapkan pada $\alpha = 0.05$ (diperbetulkan untuk mengawal FWE). Seterusnya pengaktifan otak dianalisis menggunakan analisis konjungsi bagi menentukan kawasan sepunya dalam otak yang terlibat sebagai kesan kepada peningkatan kadar tepikan dan juga daya. Aras keertian untuk analisis konjungsi ditetapkan pada $\alpha = 0.05$ (diperbetulkan untuk mengawal FWE).

Peratus perubahan isyarat (PSC) kawasan berkenaan ditentukan menggunakan perisian MarsBar (Brett et al. 2002). Di sini, PSC ditakrifkan sebagai nisbah antara perubahan isyarat resonans magnet di dalam otak semasa ia sedang berfungsi, terhadap purata perubahan isyarat resonans magnet yang dicerap daripada keseluruhan pengukuran. Analisis korelasi Spearman dijalankan bagi menguji kewujudan hubungan antara kesan saiz (nilai t) dan dan PSC pada $\alpha = 0.05$ (sela keyakinan 95%).

KEPUTUSAN

Rajah 1 adalah peta statistik berparameter (SPMs) yang menunjukkan projeksi keamatan maksimum (MIP) bagi imej statistik otak subjek yang dipaparkan pada koordinat MNI. Koordinat MNI adalah ruang stereotaktik piawai yang disediakan oleh McConnel Brain Imaging Center, Montréal Neurological Institute, McGill University, untuk kegunaan pemetaan pengaktifan otak (Good et al. 2001; Ashburner & Friston 2007) dalam pengimejan sains neuro. Imej statistik otak tersebut menunjukkan kawasan yang mengalami pengaktifan semasa subjek mengkoordinasi empat cara tepikan jari rentak sendiri iaitu SP, SL, TP dan TL. MIP yang ditunjukkan adalah mengikut tatacara neurologi dalam pembacaan imej iaitu sebelah kanan imej adalah bahagian kanan otak. MIP yang ditunjukkan dalam Rajah 1 dipanggil pada nilai $t = 4.79$ iaitu hanya voksels yang mempunyai nilai $t \geq 4.79$ ditunjukkan sebagai bererti pada aras keertian ($\alpha = 0.05$) diperbetulkan untuk mengawal FWE. Voksels dengan



RAJAH 1. Projeksi keamatan maksimum pandangan sagital, koronal dan aksial menunjukkan kawasan otak yang mengalami pengaktifan semasa tepikan jari secara a) SP, b) SL, c) TP dan d) TL (A = anterior, P = posterior, Kr = kiri dan Kn = kanan). Ujian- t dilakukan dengan darjah kebebasan = 447

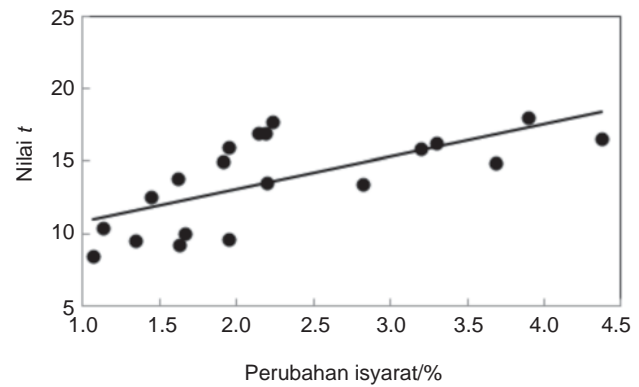
keamatan maksimum (simbol “<”) bagi SP dan TL berada pada koordinat yang hampir sama iaitu masing-masing pada 38/-6/64 dan 40/-6/64 iaitu di kawasan PCG. Untuk SL dan TP pula, koordinat yang hampir sama juga didapati iaitu masing-masing pada -20/-56/-22 dan -18/-54/-24 iaitu di kawasan serebelum.

Jadual 1 menunjukkan koordinat bagi voksel dengan keamatan maksimum, nilai t dan nilai peratus perubahan isyarat (PSC) bagi kawasan pengaktifan utama dalam Rajah 1 iaitu PCG bilateral, serebelum bilateral dan SMA, untuk setiap cara tepikan. Peningkatan daya tepikan pada laju tepikan yang sama iaitu SP mlwn. TP dan SL mlwn. TL menyebabkan nilai t dan nilai PSC bagi kesemua kawasan turut meningkat kecuali untuk SMA bagi SL mlwn. TL. Peningkatan nilai t dan PSC juga ditunjukkan oleh kesemua kawasan apabila laju tepikan ditingkatkan pada daya tepikan yang sama iaitu SP mlwn. SL dan TP mlwn. TL kecuali nilai t untuk SMA bagi TP mlwn. TL. Plot hubungan nilai t voksel dengan keamatan maksimum bagi kawasan yang dinyatakan dalam Jadual 1 dan PSC kawasan tersebut ditunjukkan dalam Rajah 2. Satu hubungan antara nilai t dan PSC yang positif, linear, kuat dan bererti ($p < 0.05$, $\rho_{\text{psc}} = 0.67$) dapat diperhatikan.

JADUAL 1. Ciri pengaktifan otak yang ditunjukkan pada Rajah 1. Semua voksel dengan keamatan maksimum mengalami pengaktifan secara bererti ($p < 0.05$ diperbetulkan untuk mengawal FWE)

Cara tepikan	Kawasan otak	x	y	z	Nilai t ± 0.01	PSC/%
SP	PCG kanan	38	-6	64	13.48	2.20
	PCG kiri	-32	-8	64	9.61	1.94
	Serebelum kanan	24	-50	-26	10.44	1.13
	Serebelum kiri	-18	-54	-26	12.54	1.45
	SMA	0	2	60	8.51	1.06
SL	PCG kanan	40	-6	64	16.29	3.29
	PCG kiri	-34	-10	64	14.89	3.69
	Serebelum kanan	26	-52	-24	14.98	1.91
	Serebelum kiri	-20	-56	-22	16.94	2.14
	SMA	4	2	52	9.99	1.66
TP	PCG kanan	40	-6	64	15.88	3.20
	PCG kiri	-36	-10	62	13.47	2.82
	Serebelum kanan	24	-52	-24	13.85	1.61
	Serebelum kiri	-18	-54	-24	15.97	1.95
	SMA	0	2	58	9.58	1.35
TL	PCG kanan	40	-6	64	17.98	3.90
	PCG kiri	-34	-10	64	16.58	4.38
	Serebelum kanan	24	-52	-24	16.95	2.19
	Serebelum kiri	-18	-56	-24	17.68	2.23
	SMA	4	2	52	9.26	1.62

Jadual 2 adalah keputusan analisis konjungsi (Friston 2004) yang dijalankan untuk menentukan kawasan otak tertentu yang terlibat dalam kesemua empat cara tepikan jari rentak sendiri iaitu SP, SL, TP dan TL. Sejumlah 7



RAJAH 2. Plot menunjukkan peningkatan nilai t apabila berlaku peningkatan dalam nilai PSC

kelompok pengaktifan bererti ($p < 0.05$ diperbetulkan untuk mengawal FWE) ditunjukkan. Kesemua voksel dalam setiap kelompok juga mengalami pengaktifan bererti ($t > 4.82$, $p < 0.05$ diperbetulkan untuk mengawal FWE). Dapat diperhatikan bahawa serebelum bilateral, kawasan PCG bilateral, girus pos-sentral bilateral, SMA bilateral, serebelum vermis dan lobus parietal superior (SPL) kiri adalah kawasan otak berkaitan motor yang terlibat dalam kesemua cara tepikan jari. Tiga kelompok pengaktifan dengan jumlah voksel aktif tertinggi adalah pada PCG bilateral, serebelum bilateral dan SMA. Keputusan analisis konjungsi juga mendapati koordinat dengan keamatan maksimum ($t = 13.48$) berlaku pada koordinat 38/-6/64 iaitu pada PCG kanan.

Jadual 2 juga menyenaraikan kelompok yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti ($p < 0.05$) semasa tepikan menekan berbanding semasa tepikan menyentuh tanpa mengambil kira laju tepikan. Keputusan tersebut diperolehi dengan melakukan penolakan berganda ke atas pengaktifan otak iaitu dengan mengeluarkan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam kelajuan tepikan dan kemudiannya menyatukan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam daya tepikan. Pada aras keertian yang tinggi ini, tujuh kelompok dengan pengaktifan bererti dilihat berlaku pada PCG kanan, PCG kiri, girus postsentral kiri, serebelum (Crus II) kanan dan girus rektal kiri. Kesemua voksel dalam setiap kelompok juga mengalami pengaktifan bererti ($t > 4.82$, $p < 0.05$ diperbetulkan untuk mengawal FWE).

Analisis yang sama yang dilakukan ke atas pengaktifan otak untuk menentukan kesan peningkatan laju tepikan. Ini dilakukan dengan mengeluarkan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam daya tepikan dan kemudiannya menyatukan kesan yang mungkin wujud akibat perubahan dalam laju tepikan. Keputusan mendapati hanya kawasan lobus parietal superior (SPL) kanan yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti semasa tepikan laju berbanding semasa tepikan perlahan, pada aras kelompok dan aras voksel dengan aras keertian α ditetapkan tinggi pada 0.05, lihat Jadual 2.

JADUAL 2. Ciri pengaktifan otak yang diperolehi daripada analisis konjungsi bagi mendapatkan kesan sepunya dan analisis penolakan berganda bagi mendapatkan kesan tekanan dan laju tepikan

Kelompok Aktif	Nilai <i>p</i> kelompok aktif	Bilangan voksel kelompok aktif	Nilai <i>p</i> voksel berkeamatan maksimum	Nilai <i>t</i> voksel berkeamatan maksimum	Koordinat voksel dengan keamatan maksimum			Kawasan pengaktifan
					<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	
Analisis konjungsi								
1	< 0.05	1529	< 0.05	13.48	38	-6	64	Girus frontal superior, postsentral dan presentral kanan (BA6, 1, 2, 3b kanan)
2	< 0.05	579	< 0.05	12.54	-18	-54	-26	Serebelum (VI) kiri
3	< 0.05	1295	< 0.05	10.68	-42	-30	62	Girus postsentral dan presentral kiri (BA6, 3b, 1, 2 kiri)
4	< 0.05	406	< 0.05	10.44	24	-50	-26	Serebelum (VI) kanan
5	< 0.05	208	< 0.05	8.14	0	2	58	SMA kiri dan kanan (BA6 kiri dan kanan)
6	< 0.05	38	< 0.05	6.70	-2	-66	-20	Serebelum vermis (6)
7	0.014	5	0.013	5.13	-28	-50	66	Lobus parietal superior kiri (BA7a, 1, 5L, 2)
Kesan tekanan tepikan								
1	0.001	29	0.001	5.71	38	-28	64	Girus presentral kanan (BA 6, 4a, 1 kanan)
2	0.001	27	0.002	5.56	44	-14	52	Girus presentral kanan (BA 6, 4a, 3b dan 1 kanan)
3	0.001	28	0.003	5.42	-48	-22	62	Girus postsentral dan presentral kiri (BA 1, 4a dan 6 kiri)
4	0.012	6	0.014	5.12	48	-64	-50	Serebelum (Crus II) kanan
5	0.025	2	0.044	4.85	-34	-12	62	Girus presentral kiri (BA 6)
6	0.033	1	0.025	4.99	-38	-16	48	BA 4a dan 4p kiri
7	0.033	1	0.025	4.85	-8	20	-16	Girus rektal kiri
Kesan laju tepikan								
1	0.021	3	0.028	4.96	28	-60	64	Lobus parietal superior kanan (BA 7a)

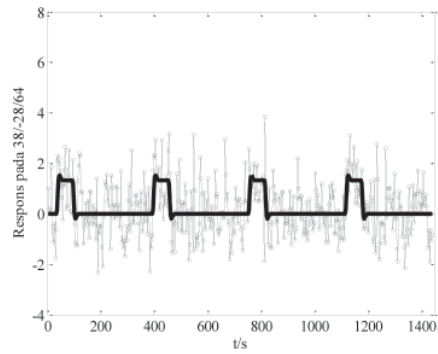
Rajah 3(a) adalah respons pada voksel dengan keamatan maksimum terhadap masa (atau nombor pengukuran) bagi kesan peningkatan daya iaitu voksel dengan koordinat 38/-28/64 untuk kesemua cara tepikan SP, SL, TP dan TL. Koordinat MNI 38/-28/64 berada dalam girus presentral kanan (PCG kanan) yang merangkumi BA6, BA4a dan BA1 kanan. Plot menunjukkan dengan jelas peningkatan respons voksel tersebut secara relatif semasa tepikan menekan berbanding tepikan menyentuh untuk kedua-dua perbandingan TP mlwn. SP dan TL mlwn. SL, iaitu dengan laju tepikan yang sama. Voksel pada PCG kanan tersebut juga menunjukkan respons yang meningkat apabila laju tepikan meningkat iaitu dengan membandingkan SP mlwn. SL dan TP mlwn. TL.

Rajah 3(b) pula adalah respons pada voksel dengan keamatan maksimum terhadap masa (atau nombor pengukuran) bagi kesan peningkatan laju iaitu voksel dengan koordinat 28/-60/64 untuk kesemua cara tepikan SP, SL, TP dan TL. Koordinat MNI 28/-60/64 berada dalam lobus parietal superior kanan atau (SPL) BA7. Perbandingan plot SL mlwn. SP dan TL mlwn. TP jelas menunjukkan peningkatan respons voksel tersebut semasa tepikan laju berbanding tepikan perlahan pada daya tepikan yang sama. Walau bagaimanapun, SPL tidak menunjukkan perubahan yang begitu ketara apabila daya tepikan ditingkatkan pada

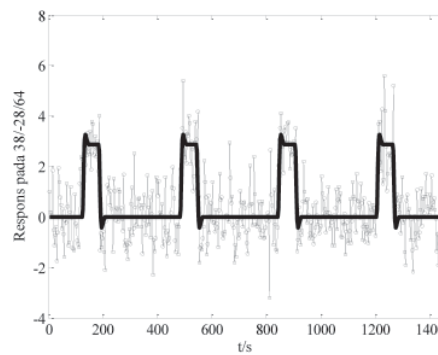
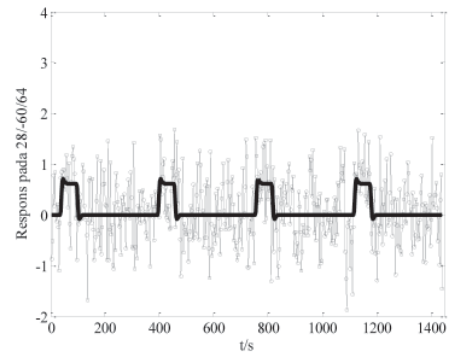
laju tepikan yang sama iaitu perbandingan SP mlwn. TP dan SL mlwn. TL.

PERBINCANGAN

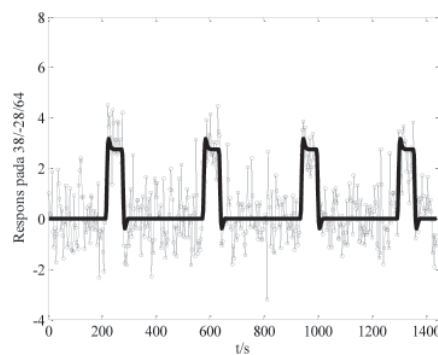
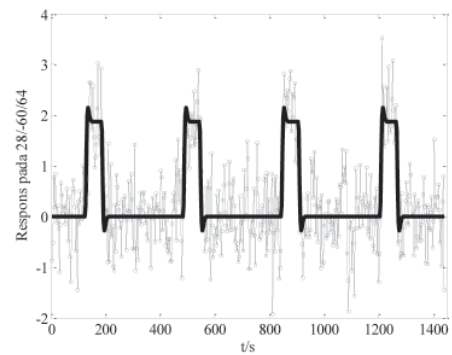
Tepikan jari rentak sendiri secara SP, SL, TP dan TL menghasilkan pengaktifan pada kawasan otak yang hampir serupa (Rajah 1). Kawasan utama yang telah dikenal pasti adalah girus presentral (PCG) bilateral (BA4 dan BA6), serebelum bilateral dan juga kawasan motor tambahan (SMA) iaitu BA6 (BA = kawasan Brodmann). Keputusan ini disokong oleh beberapa kajian terdahulu misalnya (Blinkenberg et al. 1996; Jancke et al. 1998a; Jancke et al. 1998b; Deiber et al. 1999; Jancke et al. 2000). BA4 dikenali sebagai kawasan motor utama atau M1 iaitu kawasan yang paling penting dalam mengkoordinasi gerakan anggota badan. Ia terletak pada dinding anterior bagi sulkus tengah. Ia tidak hanya terlibat dalam kawalan gerakan anggota, misalnya jari, bahkan juga memainkan peranan penting dalam penumpuan perhatian terhadap tugas yang dilakukan (Trans Cranial Technologies 2012). BA6 dinamakan korteks premotor. Kawasan ini mengunjur secara anterior dari korteks motor primer berhampiran fisur Sylvian (sulkus lateral). Fungsi asas BA6 adalah



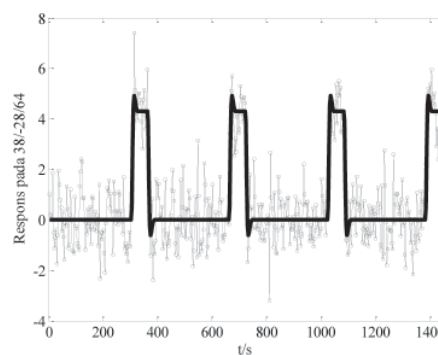
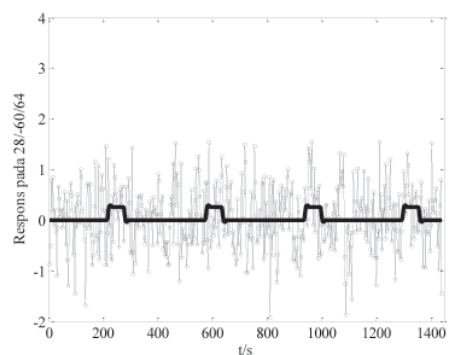
SP



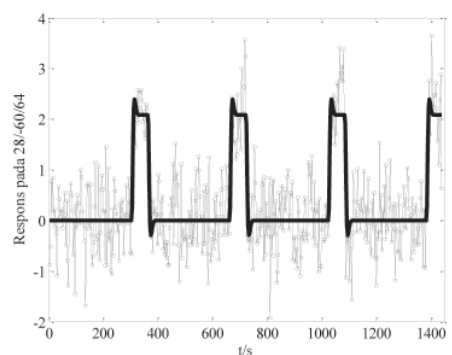
SL



TP



TL



(a) PCG

(b) SPL

RAJAH 3. Respons pada koordinat (a) 38/-28/64 dalam kawasan girus presentral (PCG) dan (b) 28/-60/64 dalam kawasan lobus parietal superior (SPL) semasa tepikan jari secara SP, SL, TP dan TL. Garis putus-putus adalah data ujikaji manakala garis tebal adalah data jangkaan

sebagai pembimbing deria semasa gerakan dan kawalan otot batang dan otot proksimal termasuk penjujukan dan pengawalan gerakan jari subjek. Termasuk di dalam BA6 adalah SMA yang mempunyai peranan sebagai pencetus gerakan. Serebelum bilateral, satu-satunya kawasan di luar korteks yang menunjukkan pengaktifan bererti, memainkan peranan penting dalam koordinasi, kejituan dan ketepatan pemasaan kawalan gerakan jari subjek (Lutz et al. 2005), tetapi tidak terlibat dalam mencetus gerakan seperti BA4 dan BA6. Selain daripada kawasan yang dinyatakan di atas, pengaktifan otak juga dilihat berlaku pada lobus parietal superior bilateral atau BA7a (Jadual 2) yang bertanggungjawab dalam koordinasi visuo-motor dan gerakan berkemahiran terancang. Keputusan analisis konjungsi dalam Jadual 2 menunjukkan kawasan pengaktifan sesama untuk kesemua cara tepikan iaitu secara SP, SL, TP ataupun TL sekaligus mengesahkan keterlibatan kawasan otak yang dinyatakan di atas semasa keempat-empat cara tepikan tersebut dilaksanakan.

Keputusan analisis penolakan berganda (Jadual 2) jelas menunjukkan penglibatan kawasan tertentu dalam otak misalnya girus presentral bilateral, BA4a bilateral, BA6 bilateral dan serebelum kanan, dalam mengawal daya tepikan yang meningkat. Kawasan tersebut didapati menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti semasa tepikan menekan berbanding tepikan menyentuh. Keputusan tersebut menunjukkan tiada penglibatan SMA dalam mengawal daya tepikan yang meningkat. Pengaktifan serebelum Crus II iaitu sebahagian daripada serebelum VIIA termasuk serebelum vermis di bahagian posterior tengah menunjukkan kewujudan unsur kognitif semasa tepikan jari dilakukan khususnya dalam mengawal tekanan tepikan. Sementara lobus anterior serebelum terlibat dalam fungsi motor, motorderia dan somatoderia, lobus posterior serebelum bertanggungjawab dalam fungsi kognitif dan emosi. Ini kerana, kerosakannya telah menyebabkan berlakunya sindrom serebelum kognitif afektif (CCAS) (Stoodley & Schmahmann 2009). Manakala fungsi spesifik girus rektus yang terletak dalam lobus frontal secara medial kepada girus orbital medial masih belum dipastikan. Keputusan analisis penolakan berganda yang dilakukan juga menunjukkan hanya kawasan lobus parietal superior kanan (BA7a kanan) yang menunjukkan pengaktifan yang lebih tinggi secara bererti semasa tepikan laju berbanding tepikan perlahan tanpa mengambil kira kesan daripada daya tepikan. Keputusan ini jelas membuktikan peranan lobus parietal superior atau BA7a dalam mengawal laju tepikan yang boleh dianggap sebagai gerakan berkemahiran terancang.

Peningkatan daya tepikan juga menyebabkan peningkatan ketara dalam nilai t dan PSC bagi beberapa kawasan korteks berkaitan motor yang disenaraikan dalam Jadual 1 (Bandingkan nilai t dan PSC antara SP dan TP serta antara SL dan TL). Peningkatan dalam nilai t dan PSC sememangnya dijangka kerana usaha yang lebih dilakukan oleh subjek untuk menepik secara menekan berbanding menepik secara menyentuh. Keputusan ini konsisten

dengan keputusan yang diperolehi untuk nilai t dan PSC bagi kawasan korteks tersebut yang secara keseluruhannya meningkat apabila laju tepikan ditingkatkan untuk daya tepikan yang sama (Bandingkan nilai t dan PSC antara SP dengan SL dan antara TP dengan TL dalam Jadual 1).

Peningkatan secara linear nilai t apabila PSC meningkat (Rajah 2) adalah wajar memandangkan nilai t ditakrifkan sebagai nisbah kesan saiz terhadap varians bagi sesuatu voksel manakala PSC pula ditakrifkan sebagai nisbah purata perubahan isyarat bagi suatu keadaan eksperimen terhadap purata perubahan isyarat keseluruhan pengukuran dalam satu sesi uji kaji fMRI. Jika diandaikan kesan saiz bagi suatu voksel adalah berkadar dengan jumlah perubahan isyarat bagi suatu kelompok voksel untuk satu-satu keadaan eksperimen, dengan sebab perubahan isyarat setiap voksel dalam satu kelompok voksel yang mengalami pengaktifan menyumbang kepada purata isyarat resonans magnet kelompok tersebut, maka satu hubungan positif dan linear antara nilai t dan PSC semestinya diperolehi seperti yang dapat dilihat pada Rajah 2.

Keputusan respons otak pada Rajah 3 untuk koordinat 38/-28/64 dalam kawasan girus presentral (PCG) dan 28/-60/64 dalam kawasan lobus parietal superior (SPL) semasa tepikan jari secara SP, SL, TP dan TL menunjukkan bahawa PCG menunjukkan respons yang lebih ketara apabila daya tepikan meningkat berbanding laju tepikan yang meningkat. Kawasan SPL pula lebih sensitif kepada peningkatan laju tepikan berbanding peningkatan daya tepikan. Keputusan ini menyokong fungsi kedua-dua kawasan korteks tersebut seperti dijelaskan di atas.

Berdasarkan kepada fenomena kebergantungan kontras imej kepada aras oksigen dalam darah (Ogawa et al. 1990a; Ogawa et al. 1990b), keputusan yang diperolehi jelas menunjukkan bahawa apabila tepikan jari dilakukan secara menekan pada kelajuan tepikan yang sama atau dengan kelajuan yang lebih tinggi pada daya tepikan yang sama, lebih banyak tisu otak menerima bekalan darah beroksigen (oksihemoglobin) akibat keperluan kepada bekalan oksigen yang meningkat. Desakan (menepik secara menekan atau menepik dengan laju) mencetus isyarat sinaps yang menyebabkan laju pengaliran darah beroksigen meningkat ke kawasan tersebut dan melembungkan vena (belon). Isi padu darah beroksigen dan kuantiti oksihemoglobin meningkat serentak dengan peningkatan kadar pengusiran keluar darah yang kaya dengan deoksihemoglobin. Kesannya, penyahfasaan intra-voksel berkurang menyebabkan isyarat resonans magnet menjadi lebih tinggi secara relatif terhadap kawasan yang tidak terlibat secara langsung dengan aktiviti tepikan jari. Model belon (Buxton & Frank 1997; Buxton et al. 1998) dan kemudiannya model hemodinamik yang dikembangkan daripada model belon (Friston et al. 2000) menjelaskan secara terperinci hubungan kait antara cetusan isyarat sinaps, pengaliran darah, isi padu darah dan kuantiti deoksihemoglobin dengan isyarat BOLD yang dicerap dan bagaimana lebih oksigen boleh mengakibatkan pengaktifan bererti di dalam otak.

Fenomena peningkatan isyarat pengaktifan otak apabila laju tepikan meningkat dinamakan kesan laju dan telah dicadangkan dalam kajian terdahulu (Jancke et al. 1998b; Lutz et al. 2005) yang ditakrifkan sebagai peningkatan dalam pengaktifan korteks berkaitan motor apabila laju gerakan anggota meningkat. Kesan laju dibincangkan sebagai berpunca daripada desakan yang dikenakan ke atas korteks berkaitan motor dalam mengawal laju gerakan yang meningkat.

KESIMPULAN

Aktiviti tepikan jari pelbagai cara mengaktifkan kawasan korteks berkaitan motor sepunya iaitu iaitu girus frontal superior kanan, girus presentral bilateral (PCG), girus postsentral bilateral, serebelum bilateral, lobus parietal kiri (SPL) dan kawasan motor tambahan (SMA). Kajian ke atas subjek tunggal ini mendapati otak manusia mengawal peningkatan daya dan laju tepikan dengan mengaktifkan kawasan PCG dan SPL lebih tinggi secara bererti berbanding tepikan secara sentuhan dan tepikan dengan kadar yang lebih perlahan. Ini mencadangkan bahawa PCG dan SPL memainkan peranan penting masing-masing dalam mengkoordinasi pergerakan berkemahiran terancang seperti tepikan menekan dan tepikan laju. Kajian subjek tunggal ini akan menjadi satu kajian garis pangkal untuk kajian subjek berbilang di masa hadapan. Maklumat yang diperolehi amat berguna dalam persediaan rawatan pemulihan fungsi motor otak yang terjejas akibat kecederaan, serangan angin ahmar dan penyakit.

PENGHARGAAN

Penghargaan ditujukan kepada Jabatan Radiologi, Pusat Perubatan Universiti Kebangsaan Malaysia (PPUKM) di atas kebenaran menggunakan pengimbas MRI dan kepada Sa'don Samian dan Khairiah Abdul Hamid di atas bantuan menjalankan imbasan fMRI ke atas subjek. Penyelidikan ini dibiayai oleh geran penyelidikan eScience Fund 06-01-02-SF0548, Kementerian Sains, Teknologi dan Inovasi Malaysia.

RUJUKAN

- Ahmad, N.Z., Ismafairus, A.H.A., Khairiah, A.H., Kamil, W.W.A., Mazlyfarina, M. & Hanani, A.M. 2011. Functional specialisation and effective connectivity during self-paced unimanual and bimanual tapping of hand fingers: An extended analysis using dynamic causal modeling and Bayesian model selection for group studies. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences* 7(2): 17-36.
- Ashburner, J. & Friston, K. 2007. Chapter 7 - Voxel-Based Morphometry. Dlm. *Statistical Parametric Mapping*, disunting oleh F. Karl, A. John, K. Stefanet al. London: Academic Press.
- Blinkenberg, M., Bonde, C., Holm, S., Svarer, C., Andersen, J., Paulson, O. B. & Law, I. 1996. Rate dependence of regional

- cerebral activation during performance of a repetitive motor task: a PET study. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism* 16(5): 794-803.
- Boudrias, M.H., Goncalves, C.S., Penny, W.D., Park, C.H., Rossiter, H.E., Talelli, P. & Ward, N.S. 2012. Age-related changes in causal interactions between cortical motor regions during hand grip. *Neuroimage* 59(4): 3398-405.
- Brett, M., Penny, W. & Kiebel, S. 2004. Introduction to Random Field Theory. Dlm. *Human Brain Function* (Edisi Ke 2), disunting oleh Frackowiak, R.S.J., Friston, K.J., Frith, C.D., Dolan, R.J., Price, C.J., Zeki, S., Ashburner, J. & Penny, W.D. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Brett, M., Anton, J.-L., Valabregue, R. & Poline, J.-B. 2002. Region of interest analysis using an SPM toolbox. Proceedings of the 8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain; 2002 Jun 2-6: Sendai Japan. Terdapat dalam CD-ROM dalam *NeuroImage* 16(2).
- Buxton, R.B. & Frank, L.R. 1997. A model for the coupling between cerebral blood flow and oxygen metabolism during neural stimulation. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism* 17(1): 64-72.
- Buxton, R.B., Wong, E.C. & Frank, L.R. 1998. Dynamics of blood flow and oxygenation changes during brain activation: the balloon model. *Magnetic Resonance in Medicine* 39(6): 855-64.
- Deiber, M.P., Honda, M., Ibanez, V., Sadato, N. & Hallett, M. 1999. Mesial motor areas in self-initiated versus externally triggered movements examined with fMRI: effect of movement type and rate. *Journal of Neurophysiology* 81(6): 3065-77.
- Eickhoff, S.B., Stephan, K.E., Mohlberg, H., Grefkes, C., Fink, G.R., Amunts, K. & Zilles, K. 2005. A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage* 25(4): 1325-35.
- Franz, E.A. 2003. Bimanual action representation: A window on human evolution. Dlm. *Taking Action: Cognitive Neuroscience Perspectives on Intentional Acts* hlm. 259-288. Cambridge, MA, US: The MIT Press.
- Friston, K.J., Mechelli, A., Turner, R. & Price, C.J. 2000. Nonlinear responses in fMRI: the Balloon model, Volterra kernels, and other hemodynamics. *Neuroimage* 12(4): 466-77.
- Friston, K.J. 2004. Experimental Design and Statistical Parametric Mapping. Dlm. *Human Brain Function* (Edisi Ke 2), disunting oleh R.S.J. Frackowiak, K.J. Friston, C.D. Frith, R.J. Dolan, C.J. Price, S. Zeki, J. Ashburner & W.D. Penny. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Good, C.D., Ashburner, J. & Frackowiak, R.S.J. 2001. Computational neuroanatomy: new perspectives for neuroradiology. *Revue Neurologique* 157(8-9): 797-805.
- Jancke, L., Peters, M., Himmelbach, M., Nosselt, T., Shah, J. & Steinmetz, H. 2000. fMRI study of bimanual coordination. *Neuropsychologia* 38(2): 164-74.
- Jancke, L., Peters, M., Schlaug, G., Posse, S., Steinmetz, H. & Muller-Gartner, H. 1998a. Differential magnetic resonance signal change in human sensorimotor cortex to finger movements of different rate of the dominant and subdominant hand. *Brain Research. Cognitive Brain Research* 6(4): 279-84.
- Jancke, L., Specht, K., Mirzazade, S., Loose, R., Himmelbach, M., Lutz, K. & Shah, N.J. 1998b. A parametric analysis of the 'rate effect' in the sensorimotor cortex: a functional

- magnetic resonance imaging analysis in human subjects. *Neuroscience Letters* 252(1): 37-40.
- Lutz, K., Koeneke, S., Wustenberg, T. & Jancke, L. 2005. Asymmetry of cortical activation during maximum and convenient tapping speed. *Neurosci Lett.* 373(1): 61-66.
- Ogawa, S., Lee, T.M., Kay, A.R. & Tank, D.W. 1990a. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 87(24): 9868-72.
- Ogawa, S., Lee, T.M., Nayak, A.S. & Glynn, P. 1990b. Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. *Magnetic Resonance in Medicine* 14(1): 68-78.
- Oldfield, R.C. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9(1): 97-113.
- Park, C.H., Boudrias, M.H., Rossiter, H. & Ward, N.S. 2012. Age-related changes in the topological architecture of the brain during hand grip. *Neurobiology of Aging* 33(4): 833 e27-37.
- Stoodley, C.J. & Schmahmann, J.D. 2009. Functional topography in the human cerebellum: A meta-analysis of neuroimaging studies. *NeuroImage* 44: 489-501.
- Trans Cranial Technologies. 2012. *Cortical Functions Reference*. <http://www.trans-cranial.com/manuals>. Tarikh capaian 30 Mei 2012.
- Yusoff, A.N., Mohamad, M., Hamid, A.I.A., Wan Abdullah, W.A.K., Hashim, M.H. & Zulkifli, N.Z. 2010. Functional specialisation and effective connectivity in cerebral motor cortices: An fMRI study on seven right handed female subjects. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences* 6(2): 71-92.
- Yusoff, A.N. 2013. Psychophysiologic interaction between the right precentral gyrus and superior parietal lobule. *Sains Malaysiana* 42(6): 765-771.

Ahmad Nazlim Yusoff
 Program Pengimejan Diagnostik & Radioterapi
 Pusat Pengajian Sains Diagnostik & Kesihatan Gunaan
 Fakulti Sains Kesihatan, Universiti Kebangsaan Malaysia
 50300 Jalan Raja Muda Abdul Aziz
 Kuala Lumpur, Malaysia

Pengarang untuk dihubungi: Ahmad Nazlim Yusoff
 Alamat emel: nazlim@fsk.ukm.my
 Tel: 603-2687 8084, Fax: 603 2687 8108

Diterima: Oktober 2012
 Diterima untuk penerbitan: Mac 2013

