特集　高次脳機能マッピング

両手協調運動における大脳皮質運動前野の役割

定 藤 規 弘　米 倉 義 晴

神 経 研 究 の 進 歩

第43巻　第 4 号 別刷
1999年 8 月10日 発行

医学書院

特集　高次脳機能マッピング

両手協調運動における大脳皮質運動前野の役割*

定藤規弘[1)2)]　米倉義晴[1)]

両手協調運動の中枢性制御において補足運動野の役割は知られていたが，その他の領域の関与については不明であった。O-15 標識水とポジトロン断層装置（PET）を用いて，脳血流測定を行ったところ，より複雑な両手協調運動は右背側運動前野から補足運動野にかけての神経活動の増強をきたすことがわかった。さらに，これらの領域の賦活はシーケンス生成のためではないことが示された。それゆえ補足運動野と右背側運動前野は両手指協調運動に関連していると考えられた。非侵襲的脳機能画像によるマッピングは，動物実験や損傷脳研究の結果を補完する有力な手法であることが示された。

キーワード：regional cerebral blood flow, sequential finger movements, positron emission tomography, supplementary motor area, premotor cortex, bimanual coordination

はじめに

両手協調運動の制御機構については不明の点が多い。とくに手指の運動は主に対側大脳半球で支配されていることから，半球間の連絡が必要である（Brinkman and Kuypers, 1972, 1973）。霊長類では，一次運動野，運動前野，補足運動野を含む運動領野の半球間の連絡は主に補足運動野によることが知られている（Rouiller et al, 1994）。補足運動野を障害することにより，両手協調運動が阻害される（Brinkman, 1981, 1984：Freund, 1990）。しかし，これが筋肉の賦活パターンの協調障害なのか，運動のプログラムに障害があるのかは不明である（Donoghue and Sanes, 1994）。本論文では，両手協調運動の神経回路を描出するため，どのようにPET と O-15 水を用いた脳賦活検査（Sadato, et al, 1997）を応用したかを紹介する。

I．脳賦活検査とは

局所の神経活動，とくにシナプス活性とそのブドウ糖代謝とは平行し，さらに，局所脳血流は酸素供給を媒介としてブドウ糖代謝と平行しているといわれ（Raichle, 1987），局所の脳血流の変化を測定することにより，局所脳神経活動の変化を知ることができる。脳血流を用いた脳賦活検査では，この局所脳血流の増加と神経活動によるエネルギー消費の増大が連関している，という事実に基づき，課題遂行中の脳血流と対照となる状態（多くは課題を遂行していない安静状態）における脳血流と比較して，脳血流の増大している領

1999 年 2 月 10 日受稿

* Role of the supplementary motor area and the right premotor cortex in coordination of bimanual finger movements.

1) 福井医科大学高エネルギー医学研究センター（〒910-1193　福井県吉田郡松岡町下合月23）Norihiro SADATO, Yoshiharu YONEKURA：Biomedical Imaging Research Center, Fukui Medical School, 23 Simoaizuki, Matsuoka-cho, Yoshida-gun, Fukui 910-1193, Japan.

2) 岡崎国立共同研究機構生理学研究所大脳皮質機能研究系心理生理学研究部門（〒444-8585　岡崎市明大寺町西郷中38）Norihiro SADATO：Psychophysiology Section, Department of Cerebral Research, National Institute for Physiological Science, Okazaki National Research Institutes, 38 Nishigo-Naka, Myodaiji-cho, Okazaki 444-8585, Japan.

域の分布を全脳にわたり描出するという方法を用いるのである。血流の有意な増加が認められた領域が，その課題の遂行に，何らかの役割を負っていると推論することにより，ある課題に関連した神経活動の変化の起こった場所を同定することができる。これが，脳血流を用いた脳賦活検査の原理である。脳賦活検査における脳血流代謝測定の手法としては，O-15標識水とPETを用いたシステムが，繰り返し測定が可能なこと（O-15は半減期が2分であるため，約10分間隔で検査を繰り返すことができる）と良好な空間的分解能から頻用されてきた。脳賦活検査により確認できることは，ある課題に関連した局所脳血流の変化である。ある課題を遂行中に脳血流の上昇している領域が，その課題を遂行するのに本質的であるのか，あるいは随伴現象（epiphenomena）であるのかは，この検査のみからでは判断できない。そのため，この方法で賦活のみられた部分が，課題遂行にどの程度の重要性を持つかの判定には，他の情報（たとえば，動物実験やヒトにおける損傷脳研究の結果）との総合が必要である。

II．両手協調運動の脳賦活検査

脳賦活検査を両手運動に適用するにあたり，左右の片手運動により賦活化される領域が両半球にまたがっているため，単純な差分法による評価は困難である（Rao et al, 1993；Shibasaki et al, 1993；Sadato et al, 1996）。そのかわりに両手運動の性格を変えることにより，脳血流パターンに変化がないかを観察することにした。対称運動（あるいは鏡像運動）はより原初的であるといわれているので，より難しい非対称運動と比較することにより賦活の見られる部分は両手協調運動に関与している部分とみなすことができる（Chan and Ross, 1988；Brinkman, 1981, 1984）。その領域が，順序形成に関連している可能性を排除するために，より単純な運動でも賦活化されるかを確認することができる。

方 法

実験1では12人の正常志願者を対象とした。全員右利き男性で19〜25歳であった。それぞれ9回の脳血流測定を10分間隔で行った。そのうち3回が安静状態，残りの6回が音により運動頻度を調節された両手協調運動で，ピアノを弾くのに似たsequential finger tappingである。うち3回が対称，3回が非対称な運指であった（表1）。脳血流測定中は閉眼状態であった。被験者はPET検査前に十分トレーニングを行い，困難なく課題の運指をできるようになった。安静状態では被験者は1Hzのメトロノーム音を聞かせた。課題状態では両手を回内位におき，板のうえで1Hzの速度で運指をさせた。アイソトープ静注8秒前から3分間運動を継続させた。実験2では9人の正常志願者を対象とした。全員右利き男性で22〜27歳であった。示指の回内回外運動を2Hzの速度で行った。メトロノームの音にあわせて運動方向をかえさせた。右のみ，左のみ，対称，非対称の4通り行わせ，その間に脳血流を測定した。それぞれの条件を2回繰り返したため，課題遂行時のPET撮影が8回，それに安静状態2回を加え計10回の脳血流測定を10分間隔で行った。最初と最後のスキャンは安静状態で，その間の8スキャンが課題遂行状態であった。その他の条件は実験1と同一にした。

表1 両手協調運動における運指

	group A（n=6）	group B（n=6）
対称運動		
右	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4
左	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4
非対称運動		
右	4, 3, 2, 1	1, 2, 3, 4
左	1, 2, 3, 4	4, 3, 2, 1

1：示指，2：中指，3：環指，4：小指

結 果

実験1では対称運動および非対称運動ともに，両側一次運動感覚野から運動前野，上下頭頂小葉，小脳，基底核および視床，そして補足運動野の賦活を認めた。右背側運動前野から補足運動野にかけて，非対称運動でより強い賦活がみられた（図1）。実験2の両示指回内回外運動においても，右背側運動前野と補足運動野は，非対称運動の方が対称運動に比べ賦活の程度が有意に大きかった。また，非対称性両示指回内回外運動による右背側運動前野と補足運動野の賦活は，片側両示指回内回外運動のそれと有意な差を認めなかった（図2）。

上の結果で，対称，非対称運動の違いは両手協調の違いと考えられるので，非対称運動でより賦活の強かった領域は，両手協調運動に寄与しているものと考えられる。その領域が右半球に偏っていたことは，非対称運動では右半球での活動をより多く必要とする一方，左半球での活動は同程度であることを示唆する。

III．補足運動野

補足運動野の活動は，運動の開始，計画（Roland et al, 1980；Orgogozo and Larsen, 1979；Grafton et al, 1992；Rao et al, 1993），運動準備（Fox et al, 1985），学習（Roland et al, 1989；Seitz et al, 1990；Grafton et

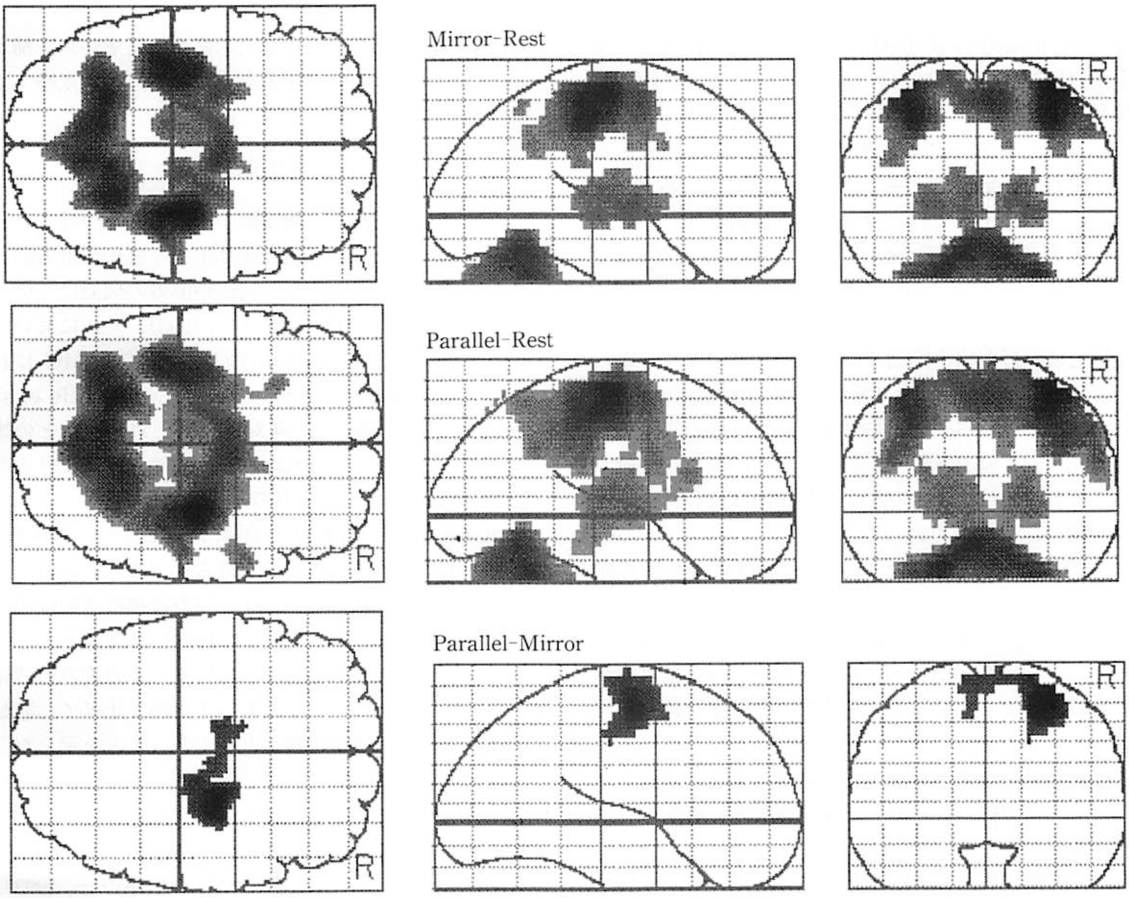

図1　sequential bimanual finger tappingによる脳賦活。脳賦活の領域を示すために，Talairach標準脳（Talairch and Tournoux, 1988）を，頭頂方向（左列），右側方向（中列），背側方向（右列）へ投影した。対称運動と安静状態の比較（上段），非対称運動と安静状態（中段）そして非対称運動と対称運動の比較（下段）を示す。賦活領域は多重比較補正後P＜0.05の領域である。

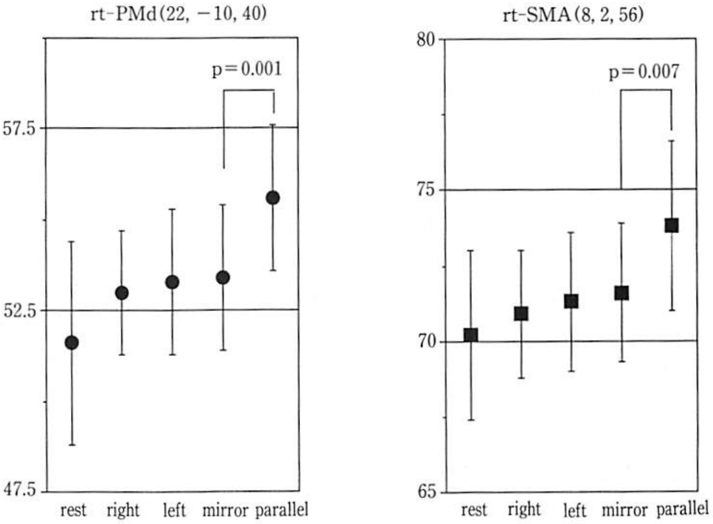

図2　右背側運動前野（左側，rt-PMd）および右補足運動野（右側，rt-SMA）における，安静時（rest），右示指回内回外運動（right），左示指回内回外運動（left），両手対称運動（mirror），両手非対称運動（parallel）時の相対的脳血流変化。9人の結果の平均をプロットし，エラーバーは標準偏差を示す。

al, 1992)，複雑さ（Shibasaki et al, 1993)，そして内的合図（Halsband et al, 1993)，あるいは選択に対する反応性（Deiber et al, 1991）に関与しているとされる。補足運動野は二つの異なる領野，すなわち anterior SMA あるいは pre-SMA，および posterior SMA，あるいはSMA properに分けられると考えられている（Luppino et al, 1993)。これらの境界は大体前交連と後交連を結んだ直線に垂直かつ前交連をとおる線 vertical anterior commissural line であるとされている（Deiber et al, 1991)。

補足運動野が両手協調運動になんらかの役割を果たしていることは以前より知られていた。Brinkman (1981, 1984）は，サルの補足運動野を片側性に除去することにより，両手協調運動の失調が長期間にわたり持続することを報告した。その際，より頻回に使われる手と同じ側の除去はより高度な失調をきたした。Laplane et al（1977）は，てんかん発作を制御するために片側性の補足運動野除去術を受けた3人の患者について報告している。これらの患者は手術後両手の交互運動ができなくなった。Chan and Ross（1988）は右補足運動野の梗塞により左手による鏡像書字と鏡像運動をきたした一症例を報告している。かれらは，左半球で生成された運動プログラムが，右半球の一次運動領野を介して左手で実行される前に，補足運動野で変換される可能性を示唆している。

この仮説は他の研究により支持されている。運動プログラムが左半球で生成されることは，左大脳半球の損傷がしばしば同側の運動制御に影響をおよぼすことから推測されてきた (Wyke, 1966, 1967, 1968, 1971；Kimura and Archibald, 1974；Kimura, 1977；De Renzi et al, 1980；Jason, 1985)。また左右で同一の運動をする際に，右手の運動の方が左手よりも 25 msec ほど先行することが示されている (Stucchi and Viviani, 1993；Viviani et al, 1995)。この遅れは，脳梁を介した信号伝達に要する時間と考えられる。このことから，運動のリズムを決定しているのが左半球であり，右半球はその時間情報を脳梁経由で受け取っている可能性があり，両手運動における左半球優位が推論されている。さらに，サルにおいては両側の補足運動野は脳梁を介して緊密に結合している一方，一次運動野同士，あるいは一次運動野と反対側の補足運動野はほとんど線維連絡がないことが知られている (Rouiller et al, 1994)。最後に，ヒトでは，経頭蓋磁気刺激法により補足運動野を刺激することにより，非対称性手指運動が対称性に変化することが観察されており，両手協調運動における補足運動野の重要性を示唆している（Pascual-Leone et al, 1994)。

これらの研究と今回の賦活検査の結果から，補足運動野は，対称性手指運動を非対称性運動に変換する役割をになっていると考えられる。

Ⅳ．背側運動前野

運動前野の障害は巧緻運動の失調と特徴づけられる (Kleist, 1907, 1911)。apraxia は主に左運動前野の障害に関連づけられてきたが，右運動前野の機能については報告は少ない（Halsband et al, 1993)。サルにおいては運動前野は，背側 (PMd) および腹側部 (PMv) にわけることができる（Dum and Strick, 1991；He et al, 1993)。今回の検討で，非対称運動と対称運動との比較により賦活の見られた領域は，その背側よりの部位から PMd に相当するものと思われる。

Mushiake et al (1991) は運動準備に関連する神経活動が PMv よりも PMd に多く見られることを報告している。さらに順序 (sequence) に特有な神経活動も PMd でより多く見られる。Kurata（1993）は方向と大きさを指示したときの手の運動において，その両方の情報を与えた時のほうが，片方を与えた時に比べて，運動準備に関連する神経活動がより大きいことを示した。つまり，PMd は方向と大きさの情報を統合して，これらが規定された運動を準備することに関与している可能性がある。これらの結果は，PMd が順序運動のプログラムに関与していることを示唆する (Kurata, 1993)。PMdは補足運動野と密な線維連絡を持っている (Kurata, 1991)。これは，補足運動野からもたらされる情報を，PMd がその反対側の手の運動に，より即した形のプログラムに変換する可能性を示唆する（Kurata, 1991)。補足運動野と運動前野においては運動準備に関連する神経活動を示すが，両手運動にのみ関連した活動を示す細胞が知られている（Tanji et al, 1988)。以上から，右運動前野は，補足運動野から得られた右手指運動の順序に関する情報を，左手に即した形に変換している可能性がある。

Ⅴ．示指の回内回外運動

この研究では，示指の回内回外運動という，順序を伴わないような運動でも非対称運動においては，対称運動に比して補足運動野と背側運動前野が賦活化された。このことから，これらの領域は順序運動のプログラムやその実行に関与していないことがわかる。これらの領域は，両手対称運動と片手運動では，賦活に差がなく，両手非対称運動でより強い賦活がみられた。このことから，両手対称運動は，片手運動に比べ，補

足運動野と背側運動前野の関与を要しないことが推測される。不随意鏡像運動は子供ではしばしば見られる現象で，一側の意図された運動が対側の対称的な不随意運動を引き起こす（Cohen et al, 1991）。これは10歳をこえると自然消褪することが通常で（Connolly and Stratton, 1968），これは脳梁の髄鞘化の完了に一致するといわれている（Yakovlev and Lecours, 1967）。このことは，非対称運動の生成に両側半球の連絡が重要であることを示唆している。さらに補足運動野と背側運動前野が，対称運動を抑制して両手非対称運動を形成するとも解釈できる。

以上，非侵襲的脳機能マップの手法が，いかに動物実験や損傷脳研究の結果を補完して，右背側運動前野の両手協調運動にはたす役割を明らかにしたかを示した。

文献

1) Brinkman C：Lesions in supplementary motor area interfere with a monkey's performance of a bimanual coordination task. Neurosci Lett 27：267-270, 1981
2) Brinkman C：Supplementary motor area of the monkey's cerebral cortex：short- and long-term deficits after unilateral ablation and the effects of subsequent callosal section. J Neurosci 4：918-929, 1984
3) Brinkman J, Kuypers HGJM：Splitbrain monkeys：Cerebral control of ipsilateral and contralateral arm, hand, and finger movements. Science 176：535-539, 1972
4) Brinkman J, Kuypers HGJM：Cerebral control of contralateral and ipsilateral arm, hand, and finger movements in the split-brain rhesus monkey. Brain 96：653-674, 1973
5) Chan J-L, Ross ED：Left-handed mirror writing following right anterior cerebral artery infarction：evidence for nonmirror transformation of motor programs by right supplementary motor area. Neurology 38：59-63, 1988
6) Cohen LG, Meer J, Tarkka I, Bierner S, Leiderman DB, Dubinsky RM, Sanes JN, Jabbari B, Branscum B, Hallett M：Congenital mirror movements. Brain 114：381-403, 1991
7) Connolly K, Stratton P：Developmental changes in associated movements. Dev Med Child Neurol 10：49-56, 1968
8) Deiber M-P, Passingham RE, Colebatch JG, Friston KJ, Nixon PD, Frackowiak RSJ：Cortical areas and the selection of movement：a study with positron emission tomography. Exp Brain Res 84：393-402, 1991
9) De Renzi E, Motti F, Nichelli P：Imitating gestures：a quantitative approach to ideomotor apraxia. Arch Neurol 37：6-10, 1980
10) Donoghue JP, Sanes JN：Motor areas of the cerebral cortex. J Clin Neurophysiol 11：382-396, 1994
11) Dum RP, Strick PL：The origin of corticospinal projections from the premotor areas in the frontal lobe. J Neurosci 11：667-689, 1991
12) Fox PT, Fox JM, Raichle ME, Burde RM：The role of cerebral cortex in the generation of voluntary saccades：a positron emission tomography study. J Neurophysiol 54：348-369, 1985
13) Freund H-J ：Premotor area and preparation of movement. Rev Neurol 146：543-547, 1990
14) Grafton ST, Mazziotta JC, Presty S, Friston KJ, Frackowiak RSJ, Phelps ME：Functional anatomy of human procedural learning determined with regional cerebral blood flow and PET. J Neurosci 12：2542-2548, 1992
15) Halsband U, Ito N, Tanji J, Freund H-J：The role of premotor cortex and the supplementary motor area in the temporal control of movement in man. Brain 116：243-266, 1993
16) He SQ, Dum RP, Strick PL：Topographic organization of corticospinal projections from the frontal lobe：motor areas on the lateral surface of the hemisphere. J Neurosci 13：952-980, 1993
17) Jason GW：Manual sequence learning after focal cortical lesions. Neuropsychologia 23：483-496, 1985
18) Kimura D：Acquisition of a motor skill after left-hemisphere damage. Brain 100：527-542, 1977
19) Kimura D, Archibald Y：Motor functions of the left hemisphere. Brain 97：337-350, 1974
20) Kleist K：Corticale (innervatorische) apraxie. Jahrbuch Psychiatrie Neurologie 28：46-112, 1907
21) Kleist K：Der gang und der gegenwartige stand der apraxie-forschung. Ergebnisse Neurol Psychiatrie 1：342-452, 1911
22) Kurata K：Corticocortical inputs to the dorsal and ventral aspects of the premotor cortex of macaque monkeys. Neurosci Res 12：263-280, 1991
23) Kurata K：Premotor cortex of monkeys：set- and movement-related activity reflecting amplitude and direction of wrist movements. J Neurophysiol 69：187-200, 1993
24) Laplane D, Talairach J, Meininger V, Bancaud J, Rogogozo M：Clinical consequences of cortiectomies involving the supplementary motor area in man. J Neurol Sci 34：301-314, 1977
25) Luppino G, Matelli M, Camarda R, Rizzolatti G：Corticocortical connections of area F3 (SMA-proper) and area F6 (pre-SMA) in the macaque monkey. J Comp Neurol 338：114-140, 1993
26) Mushiake H, Inase M, Tanji J：Neuronal activity in the primate premotor, supplementary, and precentral motor cortex during visually guided and internally determined sequential movements. J Neurophysiol 66：705-718, 1991
27) Orgogozo JM, Larsen B：Activation of the supplementary motor area during voluntary movement in man suggests it works as a supramotor area. Science 206：847-850, 1979
28) Pascual-Leone A, Cohen L, Wassermann E, Hallett M：The role of the supplementary motor area (SMA) in the coordination of bimanual movements. Neurology 44(Suppl

2)：A329, 1994
29) Raichle ME：Circulatory and metabolic correlates of brain function in normal humans. In Handbook of Physiology, Section 1：The Nervous System, Vol V, Higher Functions of the Brain, Am Physiol Soc, Bethesda, 1987, pp 643-674
30) Rao SM, Binder JR, Bandettini PA, Hammeke TA, Yetkin FZ, Jesmanowicz A, Lisk LM, Morris GL, Mueller WM, Estkowski LD, Wong EC, Haughton VM, Hyde JS：Functional magnetic resonance imaging of complex human movements. Neurology 43：2311-2318, 1993
31) Roland PE, Larsen B, Lassen NA, Skinhoj E：Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. J Neurophysiol 43：118-136, 1980
32) Roland PE, Eriksson L, Widen L, Stone-Elander S：Changes in regional cerebral oxidative metabolism induced by tactile learning and recognition in man. Eur J Neurosci 1：3-18, 1989
33) Rouiller EM, Balalian A, Kazennikov O, Moret V, Yu X-H, Wiesendanger M：Transcallosal connections of the distal forelimb representation of the primary and supplementary motor cortical areas in macaque monkeys. Exp Brain Res 102：227-243, 1994
34) Sadato N, Campbell G, Ibanez V, Deiber M-P, Hallett M：Complexity affects regional cerebral blood flow change during sequential finger movements. J Neurosci 16：2693-2700, 1996
35) Sadato N, Yonekura Y, Waki A, Yamada H, Ishii Y：Role of the supplementary motor area and the right premotor cortex in coordination of bimanual movements. J Neurosci 17：9667-9674, 1997
36) Seitz RJ, Roland PE, Bohm C, Greitz T, Stone-Elander S：Motor learning in man：a positron emission tomographic study. Neuroreport 1：57-60, 1990
37) Shibasaki H, Sadato N, Lyshkow H, Yonekura Y, Honda M, Nagamine T, Suwazono S, Magata Y, Ikeda A, Miyazaki M, Fukuyama H, Asato R, Konishi J：Both primary motor cortex and supplementary motor area play an important role in complex finger movement. Brain 116：1387-1398, 1993
38) Stucchi N, Viviani P：Cerebral dominance and asynchrony between bimanual two-dimensional movements. J Exp Psychol Hum Percept Perform 19：1200-1220, 1993
39) Talairach J, Tournoux P：Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. Thieme, New York, 1988
40) Tanji J, Okano K, Sato KC：Neuronal activity in cortical motor areas related to ipsilateral, contralateral and bilateral digit movements of the monkey. J Neurophysiol 60：325-343, 1988
41) Viviani P, Perani D, Grassi F, Stucchi N, Todde S, Fazio F：Hemispheric asymmetry in cerebral activity during rhythmic bimanual coordination. J Cereb Blood Flow Metab 15：S865, 1995
42) Wyke M：Postural arm drift associated with brain lesions in man. Arch Neurol 15：329-334, 1966
43) Wyke M：Effects of brain lesions on the rapidity of arm movements. Neurology 17：1113-1120, 1967
44) Wyke M：The effects of brain lesions in the performance of an arm-hand precision task. Neuropsychologia 6：125-134, 1968
45) Wyke M：The effects of brain lesions on the performance of bilateral arm movements. Neuropsychologia 9：33-42, 1971
46) Yakovlev PI, Lecours A-R：The myelogenetic cycles of regional maturation of the brain. In Regional Development of the Brain in Early Life, ed by Minkowski A, Blackwell, Oxford, 1967, pp3-70

Abstract

Role of the supplementary motor area and the right premotor cortex in coordination of bimanual finger movements

Norihiro Sadato[1)2)], *Yoshiharu Yonekura*[1)]

from

[1)] *Biomedical Imaging Research Center, Fukui Medical School, 23 Shimoaizuki, Matsuoka-cho, Yoshida-gun, Fukui 910-1193, Japan.*
[2)] *Psychophysiology Section, Department of Cerebral Research, National Institute for Physiological Sciences, Okazaki National Research Institutes, 38 Nishigo-Naka, Myodaiji-cho, Okazaki 444-8585, Japan.*

The neuroanatomical basis of coupling of bimanual coordination is poorly understood. In this article, animal experiments and lesion studies on bimanual coordination are reviewed, and recent results of functional neuroimaging approach are introduced. The rationale of the neuroimaging study was that difference in characteristics of the bimanual movements cause different neuronal activation in the areas that are crucial in bimanual coordination. Activation of the right dorsal premotor area (PMd) extending to the posterior supplementary motor area (SMA) was significantly stronger during the parallel movements than during the mirror sequential finger movements. During abduction-adduction of the index finger movement, even without sequence generation, activation of the posterior SMA and right PMd was significantly greater during the parallel movements than during the bimanual mirror movements. Thus, the posterior SMA and right PMd appear to be related to the bimanual coordination of finger movements.

(*Received* : *February 10, 1999*)

Shinkei Kenkyu no Shinpo (Advances in Neurological Sciences), Vol. 43, No. 4, pp477-483, 1999.
IGAKU-SHOIN Ltd., Tokyo, Japan.

特集　高次脳機能マッピング

心内表象の操作において高次運動領野の果たす役割*

本　田　　学**

一般に高次運動領野と呼ばれる大脳皮質のBrodmann6野の機能が，運動制御に限定的なのか，あるいは運動制御に直接関連しない知的作業に広くおよぶのかについては明らかにされていない。筆者らはポジトロン断層法と磁気共鳴画像法による脳機能賦活検査を用いて，ヒトが心内表象の連続操作課題（算術操作，空間操作，逐語操作）を遂行するときの脳活動を調べた。その結果，課題遂行中には明らかな運動を認めないにもかかわらず，外側運動前野および前補足運動野に，安静時と比較して有意な賦活が認められた。外側運動前野の賦活はその背吻側部に位置し，手指の複雑な順序運動による賦活とほぼ一致していた。これらの結果は，高次運動領野のうち，一次運動野および脊髄運動ニューロンと直接の神経線維連絡をもたない運動前野背吻側部および前補足運動野の機能が，運動制御に限定されず，霊長類の思考の基本要素の一つと考えられる心内表象の操作におよぶ可能性を示唆している。

キーワード：高次運動領野，心内表象，シミュレーション

I．研究の背景

これまでの脳科学では，「運動」と「思考」は，暗黙のうちに二つの別の機能として扱われることが多かった。ところが，ここ数年来のヒトを対象とした非侵襲脳機能測定の爆発的な発展と，霊長類の詳細な神経解剖学的検討に基づいて，従来運動制御装置の一部と考えられてきた小脳，とくにその新皮質の機能が，運動制御にとどまらず広く一般的知的活動に関与する可能性が示され（Schmahmann, 1997），またそれを説明する理論モデルも提唱されつつある（川人，1997）。情報処理装置としての脳という視点からみると，「運動」と「思考」の違いは，多分に便宜上のものであり，両者は実際には多くの神経機構と作動原理を共有する情報処理過程である可能性が否定できない。

ヒトを含む霊長類の生理学的研究によって，大脳皮質のBrodmann 6野に相当する領域は，高次運動領野あるいは二次運動領野として，複雑で高度な「運動」の制御を行っていることが明らかにされてきた。高次運動領野はいくつかのサブ領域に区分できると考えられている（Matsuzaka et al, 1992；Kurata, 1994）。これら複数の高次運動領野のなかで，もっとも吻側に位置する前補足運動野ならびに外側運動前野の背吻側部は，動物の知的機能と関連の深い前頭前野と緊密な線維連絡をもつ反面，一次運動野ならびに脊髄運動ニューロンに対して直接の投射をもたないことが知られている（Dum and Strick, 1992，1996；Luppino et al, 1993；Lu et al, 1994）。筆者らはこうした解剖学的な知見に基づいて，「従来，高次運動領野と考えられてきたものの中に，その機能が運動制御に限定されず，

1999年5月17日受稿

* Nonprimary motor cortex plays a role in cognitive mental operations.

** 岡崎国立共同研究機構生理学研究所心理生理学研究部門（〒444-8585　岡崎市明大寺町字西郷中38）Manabu Honda：Laboratory of Psychophysiology, National Institute for Physiological Sciences, 38 Nishigo-Naka, Myodaiji, Okazaki 444-8585, Japan.