

前補足運動野の損傷により、 特定の習熟動作の解放現象を呈した3例

Specific Learning Movement Caused by Damage to the Pre-Supplemental Motor Area: Three-Case Series

塚本能三¹⁾

¹⁾ 大阪河崎リハビリテーション大学：大阪府貝塚市水間158番地（〒597-0104）

Yoshimi Tsukamoto¹⁾

¹⁾ *Osaka Kawasaki Rehabilitation University : 158 Mizuna Kaizuka-city, Osaka 597-0104, Japan*

要旨：特定の習熟動作が解放された3症例を報告した。症例1はバスケットシュート様の動作、症例2はピアノ演奏動作、症例3は望遠鏡で何かをのぞくような動作であった。3症例の共通点は、病巣が前補足運動野に及び、本能的把握を認め、出現は習熟を要する特定の動作であったことである。前補足運動野は補足運動野の神経ネットワークとは異なり、サルを用いた実験やHikosakaらのヒトによる研究で、新たな動作が加わるときに活動することが報告されている。

3症例はそれぞれの動作の習得時に前補足運動野が強く関わったことが考えられる。一方、前補足運動野の損傷によりそれら特定の動作が出現したことから、前補足運動野には習熟した特定動作の抑制機構も存在し、その部位の損傷により脱抑制が生じ、特定の習熟動作の解放現象が生じたと考えられた。また、これらの動作は過去報告されている使用動作とは異なるものであると考えられた。

キーワード：習熟された特定動作、動作の解放現象、補足運動野、前補足運動野

ABSTRACT : We report three cases, the shooting of a basketball, piano playing, and resembled look at anything through a telescope. Lesions extended into the pre-supplementary motor area in each of the three cases. Instinctive movement was observed which appeared to be specific movement that suggested familiarity of the action.

Previous experiments using monkeys have reported that the pre-supplementary motor area, located at the front of the supplementary motor area, is active when a new movement is performed within a sequential movement, unlike the neural network of supplementary motor area. Human studies using functional MRI, reported by Hikosaka et al., also indicated that the pre-supplementary motor area plays an important role in the learning of new procedures. In each of our three cases, the pre-supplementary motor area was thought to be strongly involved in the acquisition of mastered movements. Conversely, damage to the pre-supplementary motor area caused these specific movements to emerge, suggesting that the pre-supplementary motor area is related to mastery of movements. These behaviors were different from utilization behaviors.

Key words : learned specific movements, movements release phenomenon, supplementary motor area (SMA), Pre-supplementary motor area (pre-SMA)

¹⁾ 塚本能三 Yoshimi Tsukamoto

E-mail : tsukamotoy@kawasakigakuen.ac.jp

1. はじめに

山鳥¹⁾は「神経心理学では症候が教科書であり、われわれはこの教科書のほかには、障害の本質や治療への手立てを勉強する手段を持たない。」と症候学的重要性を述べている。症候学的報告が1960年代の画像診断の進歩に伴い、現在の神経心理学の基盤を築いてきた。たとえば、前頭葉は謎と長きにわたり語り継がれてきたが、症例の蓄積が数多くなされ、前頭葉の機能的解明が進みつつある。前頭葉の内側面に位置する補足運動野の機能もその1つである。

補足運動野の発見は画像診断開発以前に遡る。1949年、PenfieldとWelchは大脳前頭葉の内側面に小さな電極をあて電気刺激を与えることで運動が誘発されることを発見した²³⁾。さらに、後方から前方にかけて、下肢・体幹・上肢・顔面の動きが配置されているという体部位特異性を見出した。一次運動野との違いとして運動を誘発させるためには、より強い電流を要し、誘発される運動は多くの筋肉が同時に収縮する複合的な運動になることが多いこと、また、刺激を与えたから反応するとは限らず、不安定性があり、他の運動が付加されることも明らかにした。さらに顕著な一次運動野との違いはその領域を切除しても麻痺は生じないということであった。そのため彼らはこの部位を補足運動野と命名した。

現在、補足運動野の損傷により生じる高次脳機能障害が明らかにされている。例えば、運動無視⁴⁾、運動維持困難⁵⁾、運動開始困難⁶⁾などのように陰性症状と呼べる反応がある。また陽性症状としては把握反射⁷⁾、本能性把握反応⁷⁾、使用行動⁸⁾があり、障害が多彩である。本能性把握反応とは「自分の意志とは関係なく、手(どの部位でもよい)に触覚刺激があったり視野内に視覚刺激が知覚されたりすると、手で緩やかに、手探りするように追い求め、最終的に刺激物を握るという現象である。」⁹⁾とされている。使用行動とは「目の前に置かれた物品を、使用する指示がなくても、また使用を禁じて、見たり手に触れたりして、何となく使ってしまう現象である。」⁹⁾解放される動作は特定の使用動作ではなく、櫛、歯ブラシ、コップなどの日常生活で使用される物品の使用動作である。使用行動には本能性把握反応が伴う⁸⁾とされている。すなわち、眼前におかれた物品を本能性把握反応があるために、把握し、把握するだけでなく、その物品の使用行動に及ぶのである。一方、脳梁に病巣が及ぶことで道具の強迫的使用が生じる。道具の強迫的使用とは「机上にあった櫛を右手でとって使い始めると、左手は右手首をもつ、右手を押さえつける、あるいは、櫛を取り上げるなどで動作を止めようとする。ビスケットやせんべいなどの食物も使用対象になる。」⁹⁾という動作の解放現象である。

今回、筆者はこれらの現象とは異なる特定の習熟動作が解放された3症例を経験した。症例1はバスケットシュート様の動作^{10,11)}、症例2はピアノ演奏動作^{10,11)}、症例3は

筒状の物をのぞく動作¹²⁾であった。それぞれに共通したことは、本能性把握反応を認め、病巣が前補足運動野に及び、出現した特定の動作には習熟を要したことである。

筆者は症例1と症例2については前補足運動野が反復訓練を要する習熟動作に関わっていることの可能性を既に報告している¹¹⁾。今回、さらに前補足運動野に損傷が及んだ症例3を加え、症候学的に検討し、3症例の上記以外に共通する、障害メカニズムについて考察を加えることにした。

なお、全ての症例に対して、本研究の主旨を説明し、対象者、および対象者のご家族に同意を得ている。

補足運動野の前方部にある前補足運動野は補足運動野の神経ネットワークとは異なることが明らかにされている¹³⁾。また、サルを用いた実験により機能的にも異なる¹⁴⁾ことが明らかにされている。症候学的前補足運動野の損傷による特定の習熟動作の解放現象の報告は本邦では見当たらない。前補足運動野の機能的側面に症候学的立場から考察を加えたので報告する。

2. 症例

2.1 症例1

13歳、女性、右利き(家族に左利きはいない)、中学1年生。

2.1.1 現病歴

X日、中学校から自転車により下校中乗用車に追突され受傷した。A病院に救急搬送され脳挫傷と診断、入院となり、X+44日後水頭症に対して、VPシャント術が施行された。X+106日に総合的なリハビリテーションを目的にB病院に入院となった。

2.1.2 神経学的所見

B病院入院時、意識は清明だが、無言状態であった(まもなく改善した)。当初四肢不全麻痺(左右上肢・手指・下肢のBrunnstrom-stage IV)がみられたが退院時(X+182日)にはほぼ消失していた。右手の把握反射、そして両手に本能性把握反応を認めたが、その他病的反射、感覚障害はなかった。また、軽度の構音障害がみられた。

2.1.3 MRI (T₂強調画像: 図1) 画像所見

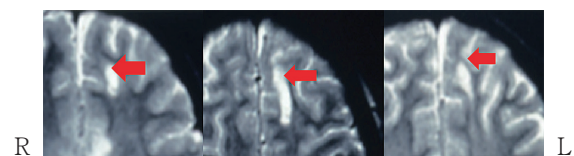


図1 症例1のMRI T₂強調画像

補足運動野から前補足運動野にかけて高信号域(◀)を認めた。

左側の前補足運動野に病巣があり、また脳梁にも及び幹から膨大にかけてみられた。

2.1.4 神経心理学的所見

脳梁損傷由来の左手に触覚性呼称障害、失書、観念運動失行がみられた。注意障害を認め、転導性の亢進、多動傾向がみられ、運動維持困難、見当識障害も認めた。両手には不随意運動がみられ、この動作はバスケットシュート様の動作であった。使用行動、模倣行動はなかった。X+166日前後のその他検査所見は以下のとおりであった。日本版レーブン色彩マトリックス 24/36 (A: 10/12 B: 8/12 C: 6/12)、長谷川式簡易脳知能評価スケール 24/30、三宅式記憶力検査有関係対語試験 24/30 6・6・6 (無関係対語試験は実施困難であった。)

2.1.5 両手のバスケットシュート動作について (図2)

本例は中学入学と同時にバスケットボール部に入部し、事故直前までの約3ヶ月間かなり厳しい練習をこなしていた。右手は真上に挙上して肘を完全に伸展してから、手関節を掌屈する動作を示した。一方左手は右手と同時に、わずかに遅れて動き、挙上し、肘の伸展は不完全でそのまま降ろすか、右の側頭部から後頭部を搔く、ないしは撫ぜるような動作を示した。右手は単独で動くこともあったが、左手が単独で動くことはなかった。この動作は視覚、触覚、聴覚刺激によらず、リハビリテーションの訓練時や、日常生活場面においても頻繁にみられた。しかし、日常生活場面の意図的な手動作(食事、洗面など)が進行中にその動作が中断してバスケットシュート様の動作が出現することはなかった。本人に問うと、勝手に動くことと訴えた。一方の手が他方の手の動きを静止することはなかった。会話中バスケットボールの話題になると、右手がドリブルの動作をすることもあった。入院2ヶ月後(X+166日)には脳梁離断症状である左手の触覚性呼称障害、観念運動失行、失書に加えて、両手の把握現象は消失した。バスケットシュート様の動作は徐々に頻度が減少し入院3ヶ月後(X+196日)にはほぼ消失した。退院後自宅を訪問する機会を得ることができ、自宅の庭にあるバスケットゴールに向けてバスケットボールを投げてもらったところ、ワンハンド・セット・シュート、すなわち不随意的に出現していた動作と同じ動作で応じた。その後その年に中学に復学した。約1年後に来院した際、母親は、挙手を求められていないのに稀に手を挙げるがあったことを、担任教師から知らされたと述べたが、それ以外の出現は確認されなかった。



図2 バスケットシュート動作(自由会話時)

2.2 症例2

74歳、女性、右利き(血縁に左利きはいない)、元ピアノ教室(指導者)経営。

2.2.1 現病歴

当時の10年前に左上下肢麻痺と舌のもつれが生じたが2~3日で軽快した。そのため、医療機関にはかからなかった。X日午後7時頃買い物から帰宅、その直後に倒れた。その時家族の呼びかけには首振りですべてはできなかった。翌朝、近院で脳梗塞と診断され約4ヶ月間の入院となった。X+180日に総合的リハビリテーションを目的としてC病院に入院となった。

2.2.2 神経学的所見

意識は清明だが、発動性、および発話衝動の低下がみられ、注意障害も認めた。見当識は保たれていた。左上下肢は完全麻痺、右上下肢の筋力低下を認めたが、筋緊張の亢進はなかった。Babinski反射が右側で陽性であった。また、重篤な構音障害、発声障害、嚥下障害などの仮性球麻痺症状を認めた。

2.2.3 MRI (T₂強調画像: 図3) 画像所見

両側の基底核、放線冠、側脳室前角周囲、帯状回前方部の皮質下、半卵円中心にかけて高信号域がみられた。左側では前補足運動野に高信号域を認めた。一部補足運動野にも及んでいた。また、側脳室周囲に広範な高信号域がみられた。

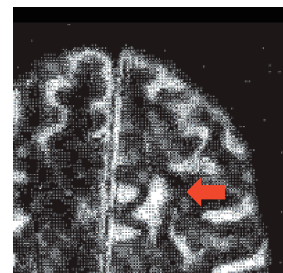


図3 症例2のMRI T₂強調画像
補足運動野から前補足運動野にかけて高信号域(◀)を認めた。

2.2.4 神経心理学的所見

右手に把握反射、本能性把握反応を認めた。さらに、模倣行動と使用行動がみられた。使用行動は櫛や歯ブラシな

どの物品を右手に触れさせるとゆっくり使い始めた。時として眼前の物品に手を伸ばして把握し使うこともあった。左手の反応は完全麻痺のため確認できなかったが、体幹や頭部、表情で右手の動作に違和感を示す、拒否することはなかった。本例をピアノに近づけると鍵盤に手が届かない位置から右手を伸ばし、届くと同時に弾き始めた(図4)。弾く楽曲は童謡か音階の繰り返しであった。弾く速度が遅く、単調で演奏技術の拙劣さを感じさせた。入院1ヶ月前後のその他検査所見は以下の通りであった。日本版レーベン色彩マトリックス 14/36 (A: 6/12 B: 5/12 C: 3/12)、長谷川式簡易知能評価スケール 22/30。

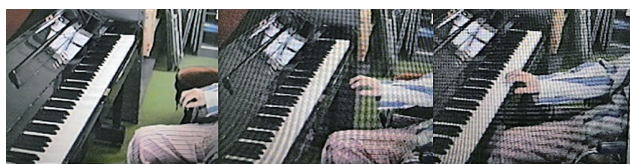


図4 症例2のピアノ使用行動

ピアノに近づけると、右上肢が伸び、鍵盤に届くと同時に弾き始めた。

2.2.5 右手のピアノ演奏動作について(図5)

本例は14歳からピアノを習い始め、結婚後は自宅で指導者としてピアノ教室を開いていた。10年前の不調から演奏能力が低下したため教室を閉めた。しかしピアノ演奏は今回の発症までリハビリテーションを兼ねて毎日行っていた。この動作は中手指関節が交互に掌屈しては戻る動きで、今回の発症直後、意識レベルの低下の状態から現れ、宙に鍵盤があるかのように指が動いていたとのことであった。C病院に入院後もこの動作は持続した。この動作は外的刺激がなくても出現したが、出現中にピアノ演奏曲を流すとそれまで緩やかだった指の動きが速く、強まった。物品を把握、ないし使用している最中であってもこの動作が出現することがあった。指示で制止は可能であるが、すぐに同じ動作が現れた。重篤な構音障害、発声障害、発話衝動の低下などから口頭による確認はできなかったが、筆談で勝手に動くと言った。しかし、本人からは、この反応に困っているというような悲壮感は伝わってはこなかった。ある時、本人同様ピアノ演奏歴がある長女に指の動きを読み取ってもらったところ、童謡曲「チューリップ」の指の運びということであった。



図5 症例2のピアノ演奏様動作(自由会話時)

膝の上に置かれた右の第1から第5の手指が交互に動いた。

2.3 症例3

60歳、男性、右利き(血縁に左利きがいる)、高卒、船員(機関士)。

2.3.1 現病歴

8年前に九州で仕事中に右片麻痺、顔面麻痺、構音障害が生じ、近院を受診したところ、脳梗塞と診断され、約2週間の加療を受けた。その後D病院に転院し左STA-MCAバイパス術を行い、自力歩行可能なレベルまで改善したため、船員に復帰した。発症から約3年退職まで船員を勤めた。退職して5年後、X日の午後トイレで両下肢に力が入らず、立てなくなっているところを家人に発見された。その時間いかけには、身振り、手振りでも反応していたが、発語は全くなかった。両上肢の麻痺はなかったとのことであった。翌日、E病院を受診し、脳梗塞と診断され、入院となった。さらなるリハビリテーションを目的としてX+185日目にF病院に転院となった。

2.3.2 神経学的所見

意識は清明であるが、発動性の低下を認めた。上肢・手指・下肢のbrunnstorm stageはそれぞれIVレベルの右不全麻痺があった。感覚障害は無く、その他病的反射は認めなかった。

2.3.3 MRI(T₂強調画像:図6)画像所見

右前頭葉内側面の補足運動野から前補足運動野にかけて高信号域がみられ、また病巣は脳梁の膝部から体部に及んでいた。

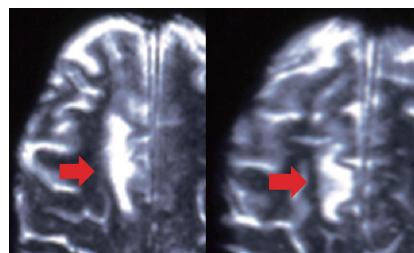


図6 症例3のMRI T₂強調画像

右前頭葉内側面の補足運動野から前補足運動野(➡)にかけて高信号域がみられた。

2.3.4 神経心理学的所見

入院当初、発話衝動の低下が著明で呼称、音読、復唱いずれの言語課題においても語頭音がかろうじて表出される状況であった。このように自発的な発話は全くみられなかった。コミュニケーション手段は、首振りによるyes、no反応と、単語レベルの筆談が比較的有効であった。見当識障害、記憶力障害、注意障害を認めた。左手に脳梁離断症状である、観念運動失行、失書、触覚性呼称障害を認めた。左手の把握反射、本能的把握反応がみられたが、道

具の強迫的使用はなく、模倣行動もなかった。筒状の物を持たせると「のぞく」という動作のみ出現した。その他の物品の使用行動は認めなかった。

2.3.5 のぞく動作について (図7・図8)

本例は船員時代、2等航海士をリーダーとして4名の乗組員で夜中の2時ごろから約1時間、天体観測を行っていた。左手で望遠鏡に接眼し調節しながら、ターゲットを捉え、右手で筆記用具を持ち記録を行っていた。眼前の物を自ら把握する、さらにそれを使用することもなかった。検者が本例の右手、あるいは左手に歯ブラシ、櫛、かみそり(刃を抜いたもの)、はさみなどの物品を握らせても全く使用行動は出現しなかった。ところが、左手に、双眼鏡、万華鏡、天体望遠鏡の接眼部を持たせると、緩やかに、回しながら眼元に近づけのぞく動作で反応した(図7)。さらに、実際にのぞく機材ではない、例えば、サランラップの芯(図8)、糸巻きコーンと呼ばれる紙管、中が空洞の木の棒、また、本例の親指と人差し指でリングを作ってもものぞく動作で反応した。この動作は右手には出現しなかった。口頭でこの動作を禁じると抑制することはできた。視覚情報をアイマスクで遮断して、筒状の物を持たせると、先端の穴を親指で確認して、緩やかに眼元に近づけ、のぞく動作で反応した。



図7 症例3の反応

左手は接眼レンズを眼元に近づけ、左眼を細め、のぞく。右手では接眼レンズを把握するのみであった。

3. 症例のまとめ

3症例の特徴を表1にまとめた。3症例に共通することは、病巣が補足運動野から前補足運動野に及んでいたこと、動作が出現した側の手に本能性把握反応が見られたことである。症例1と症例3はその他の物品において使用行動は見られなかったが、症例2は使用行動が見られ、櫛、歯ブラシを近づけると把握して使用するようになり、本例をピアノの鍵盤に近づけると、到達する前から右手を伸ばし演奏動作の準備を行い、到達すると演奏し始めた。症例3は筒状の物以外の物品の使用動作は両手に一切見られなかった。糸巻きコーンと呼ばれる紙管は円錐形で、いわゆる筒状の物でも少し異形になるが、しばらく把握して、指で確認するような反応により遅延したが、最終的には目を細め、のぞく反応が見られた。特徴的であったのは、症例3の親指と人差し指でリングを他動的に作らせると、そのリングを眼前に近づけ、のぞいたことである。症例1と症例2における習熟動作の出現は安静時にみられた。一方、症例3は触覚刺激が動作出現のキッカケとなり、刺激がない状態では動作の解放は見られなかった。

3症例のそれぞれの特定制動とのかかわりについてまとめると以下のとおりになる。症例1はクラブ活動がバスケットボール部で、事故当日も直前まで、バスケットシュートの反復学習を繰り返していた。症例2のピアノ演奏歴は古いですが、10年前の脳梗塞発症以降、リハビリテーションを兼ねて、やはり、症例1同様に反復練習を行っていたことになる。一方、症例3は船員退職後は天体観測は行っておらず、動作が反復されていたということではない。つまり、症例1と症例2の特定制動は、発症直前まで反復練習がなされていたが、症例3は、反復練習はされておらず、すでに過去に終わった動作であった。



図8 のぞく動作

筒状の物を左手に渡すと、グルグル回しながら、最終的にはのぞく動作をした。はさみ、櫛など他の物品では使用動作は出現しなかった。

表 1 3 症例の特徴

	症例 1	症例 2	症例 3*		
特定動作	バスケットシュート	ピアノ演奏	のぞく		
性別	女	女	男		
年齢	13	72	60		
利き手	右				
疾患	左頭部外傷	左脳梗塞	右脳梗塞		
病巣 (共通)	補足運動野～前補足運動野				
把** 握 現 象	把握反射	R	(+)	(+)	(-)
		L	(-)	(-)	(+)
	本能性把握	R	(+)	(+)	(-)
		L	(+)	(-)	(+)
その他使用行動**	(-)	(+)	(-)		
特定動作発現	安静時		触覚刺激		

*: 血縁に左利きあり。

** (+): 陽性、(-): 陰性

4. 考察

4.1 3 症例の共通病巣 (前補足運動野) の同定

前補足運動野の解剖学的な位置については、前交連と後交連を結び、前交連の位置で引いた垂線 (VCA ライン) により、後方の補足運動野と区分¹⁴⁾ されることは知られている。帯状溝辺縁枝が記載された解剖図¹⁵⁾ (図 9) から見ると、帯状溝辺縁枝が前補足運動野の位置を知る上での 1 つの指標として捉えることができる。3 症例の画像から帯状溝辺縁枝を読み取ると図 10 になる。いずれも前補足運動野を含んでいることがわかる。病巣は、症例 1 と症例 2 は優位に前補足運動野にみられ、症例 3 は比較的 3 例の中では補足運動野に広くある。

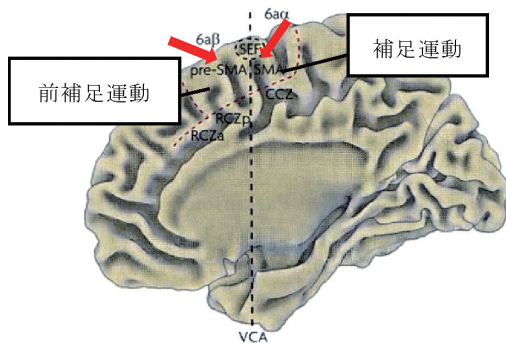
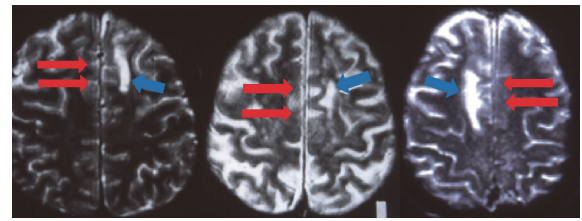


図 9 前補足運動野の解剖学的位置

(Machev p 2008 から改変)

(➡): 帯状溝辺縁枝



(症例 1) (症例 2) (症例 3)

図 10 3 症例の帯状溝辺縁枝の位置

(➡): 帯状溝辺縁枝 (➡): 病巣

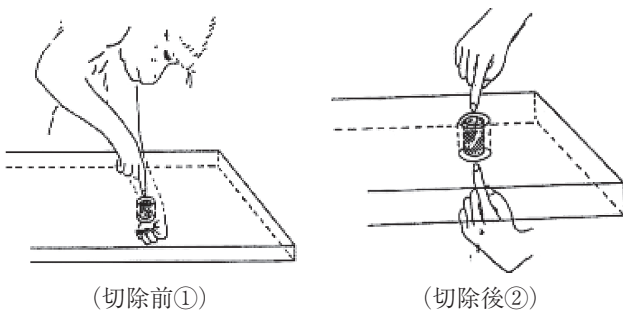
4.2 補足運動野と前補足運動野の神経投射の違い

前補足運動野と補足運動野は神経の線維連絡の入力・出力関係が異なる^{16,17)} ことが明らかにされている。補足運動野からの出力先は、まず一次運動野が顕著で、運動前野や帯状皮質にも出力する。それらの出力は部位特異性があり、補足運動野の上肢支配領域からは一次運動野の上肢支配領域に出力が送られる。下行する出力は視床と大脳基底核の線条体に送られ、脳幹、脊髄にまで達している。一方、前補足運動野は補足運動野の投射とは全く異なる。まず、一次運動野には出力は送らないし、脊髄への直接出力もないのである。その出力は補足運動野、運動前野、帯状皮質運動野に送られ、視床、線条体や脳幹への出力はあるが、補足運動野の投射と重なることはない。前頭前野からの入力においては、補足運動野は受けませんが、前補足運動野は受ける。また、補足運動野は上頭頂連合野から入力を受けるが、前補足運動野は下頭頂連合野から受けるということでも異なっている。

以上のことから、補足運動野と前補足運動野での入力、出力関係が異なり、機能的にも異なることが想定できる。

4.3 サルからわかる補足運動野、および前補足運動野の機能

サルの補足運動野を切除して生じる 2 つの徴候¹⁸⁾ が報告されている。その一つ目は両手を協力的に使う動作の障害である。透明なアクリル厚板に丸く穴をあけ、円柱状の空洞をつくり、そこに餌を差し込んだものを、通常サルは一方の手の人差し指を伸ばし、穴の上から餌を押し出すと同時に、もう一方の手を受け皿のように穴の下に当てて、押し出した餌を受ける反応を示す。しかし、補足運動野の 1 側を切除した後では、サルの反応は異なり、両手の協調動作が見られなかった。すなわち、両手とも人差し指で餌を押ししてしまい、結局、餌を取ることができなかったのである (図 11)。一連の動作が、正しく組み合わせられることで、目標の「餌にたどり着く」ことができる。しかし、目標を達成するための、協調動作ができなくなっていることがわかる。



(切除前①) (切除後②)
 図 11 補足運動野切除後の両手の分業的動作が
 不能になった例

(Brinkman, 1984 から改変) ①一方の指で餌をつつき、反対側の掌でとる。②では①の動作ができなくなった。

もう一つの観察は、一つ目と同様に透明なアクリル厚板を使い、それに多数の穴を整然とした配列で開けておく。それらの穴の中にレーズンを1個ずつ入れて、サルの前に置くと、通常サルは端から順序良く、連続的に取る。しかし、補足運動野切除後では、レーズンの取り方に規則性がなくなり、ランダムな位置から取るうとして、結果、時間を要し、取り損なったりするようになったのである。一つ目の観察同様、効率的な順序だった動作の協調が困難になったことが考えられる。以上のことから、補足運動野の損傷により順序制御¹⁷⁾に障害が及ぶことがわかる。

サルによる細胞活動からの前補足運動野の役割については、補足運動野との違いから報告されている^{16,17)}。それによると、サルによるタッチキーの操作による行動観察から、補足運動野は記憶主導の動作が関わり、前補足運動野は一連の動作で、新たな動作が加わるときに活動することが報告されている。すなわち、すでに手続き記憶として完成された運動記憶は補足運動野が関わり、手続き記憶が完成するまでの反復学習期間においては新しい記憶を取り込む前補足運動野が関わっていることが考えられる。

4.4 Hikosaka らのサルとヒトでの研究

Hikosaka らは微小電極を使ったニューロン活動記録法によりサルを使つての実験をおこなっている。その課題は2×5課題と呼ばれ、1種の順序ボタン押し課題である(図12)^{19,20)}。16個のボタンが4×4で配列されている。16個のうち2個のボタンが同時に光る。サルは光ったボタンを正しい順番で押さなければならない。正しい順番は試行錯誤で見つけることになる。正しく押せると、違う二つが光り、やはり正しい順番で押さなければならない。もし間違った順番で押すと、ふりだしに戻ってセット1からやり直さなければならない。このようにして、5セットを成功させると1施行が成功したこととする。同じ5セットが繰り返り同じ順番で提示されるので、サルは次第に学習していく。1頭のサルは異なるセットを10～20セットは学習できるとしている。そのそれぞれを毎日10回成功するま

で行い、1ヶ月以上学習を続けると、全体のボタン押しを一連の動作として非常に速く、よどみなく行うことができるようになるのである^{22,23)}。

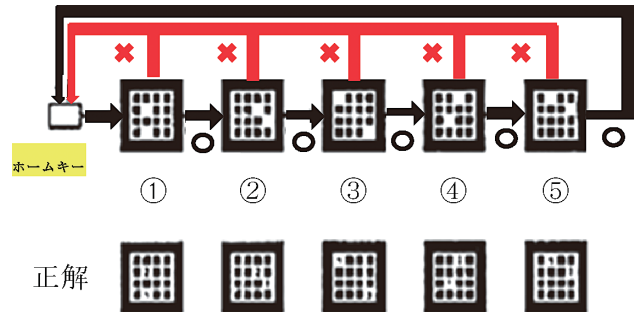


図 12 2×5 課題 (Hikosaka から改変)

この実験から、補足運動野は複雑な運動や順序を持った運動に関係していることを見出し、さらに前補足運動野の学習における典型的なニューロン活動²³⁾を抽出した。すなわち、記憶が定着したセットには前補足運動野はほとんど活動しなかったが、新しく取り込むセットには、ボタンを押す前から強く活動したことである。そのことから、Hikosaka らは「前補足運動野は学習メカニズムの一つである。」と述べている。

さらに、Hikosaka らは機能的 MRI を用いてヒトでの研究^{21,22)}を報告している。課題はサルの場合と基本的には同じである。4×4ではなく2×2のボタン配置になっていることと、2×5ではなく2×10のボタン押し順序課題になっていることだけが違う。結果、サルと同様に、ヒトでも前補足運動野は新しい手続きの学習に重要な役割をもつことが示された。

このように、補足運動野と前補足運動野の役割が異なることが、ヒトによる研究でも明らかにされている。

4.5.3 症例の特定動作について

バスケットシュート動作、ピアノ演奏動作、のぞく動作、これら3つの動作の特性について以下に述べる。

症例1のバスケットシュート動作、つまり、「ワンハンド・セット・シュート」は、脇を締めた状態でボールを持ち上げ、額の前もしくは肩の前でスナップを効かせシュートを放ち、シュート後、フォロースルーを残し、放ったシュートの感覚や、結果からフィードバックを得る²⁴⁾という一連の動作である。全身の運動調節のスキルを鍛え、正確なシュート技術、感覚を養うために、成功体験を積み重ねながら、絶え間ない反復学習が必要とされる。

症例2のピアノ演奏を習得するためには、指の繊細な動きにより、様々なテクニックが必要とされる。例えば、和音、アルペジオ、音色の変化、リズムなどがある。これらの修得のために幼少からの英才教育が多く進められている。一方、5本の指の独立を強化するための「ハノン」と

いうピアノ練習曲がある。「ハノン」は大人からのピアノ演奏修得のための課題²⁵⁾である。いずれにせよ、様々な高度な感覚的フィードバックが要求され、熟練するために継続的な反復学習が必要とされる。

症例3ののぞく動作、本例では天体望遠鏡による天体観測を行う動作²⁶⁾になる。この動作は単に万華鏡、双眼鏡をのぞくこととは異なり意外に難しいと考えられている。それは、のぞき込む接眼レンズには「アイポイント」と呼ばれる最も適した瞳を置く位置があり、接眼レンズごとに設定されている。ほんの数ミリ瞳の位置が上下・左右いずれかにずれると、視野野全部を見渡すことができなくなり、視野の一部しか見えなくなり、さらにズレることで全く見えなくなり、ブラックアウトと呼ばれる状態になる。すなわち、天体観測を行い、記録をするためには「アイポイント」を一定に保ちながら、視野を確保し、視線を記録ノート、接眼レンズに交互に移動させながらすすめる²⁶⁾という、複雑な一連の行為が要求される。

以上のことから、バスケットシュート動作、ピアノ演奏動作、のぞく動作（天体観測）も習熟するためには反復学習が必要とされることがわかる。すなわち、使用行動で出現する、日常使用物品（櫛、歯ブラシ、コップ、めがね、スプーン、箸、爪切りなど）の使用動作とは一線を画する動作であると考えられる。

症例1、症例2の共通点の一つは、特定の動作が安静時であっても出現したことである。症例1のバスケットシュート動作（ワンハンド・セット・シュート）は事故当日までクラブ活動で行われ、毎日のように、反復学習されていた。同様に、症例2のピアノ演奏動作は、10年前に脳梗塞を発症し、スキルの低下によりピアノ教室を閉じたが、リハビリテーションとして、演奏を続けていた。このことは、再学習が反復的に行われていたと考えられる。症例3ののぞく動作（天体観測）は、船員を退職してからは、天体観測からは遠ざかったため、動作が反復されることはなかった。

症例1と症例2が刺激によらず出現したことは、発症直前まで反復学習が行われていた、すなわち学習が進行中の動作であり、解放されやすい状態であったことが可能性として考えられる。異なることは、症例1では使用行動が見られなかったが、症例2では認めたことである。この違いは症例2では前頭葉の皮質下に広範な病巣があり、また、年齢的なこと、あるいは、発動性の低下など前頭葉機能の低下による脱抑制が強まっていたことが関わっている可能性が考えられる。一方、症例3では筒状の物に触れることで出現した。触覚刺激で本能性把握反応が生じ、使用動作が出現することは、使用行動⁸⁾の範疇と考えられるが、他の物品では一切生じなかったことは補足運動野の損傷による脱抑制、つまり使用行動が出現しているという解釈は難しい。症例1、症例2と同様に、前補足運動野の損傷による影響が強かった、つまり、習熟を要する特定動作で

あったと考えられる。特徴的なことは、本例の左手の親指と人差し指をまるめ、okサインのようにすると、眼元まで挙上してのぞき込む動作が出現したことは、他の動作とは異なり強い形で解放されていることを示している。

これら3症例に共通して特定の動作が出現した側の手に本能性把握反応が見られた。これは補足運動野の損傷が影響していると考えられる。しかし、使用行動が出現したのは症例2のみであった。病巣が補足運動野に広く及んでいたのは症例3であるが、症例3は他の物品では一切使用行動は出現しなかった。病巣の広さによる補足運動野の損傷による関与はそれほどないのではないかと考えられた。

補足運動野と一次運動野の違いとして、運動を誘発させるためにはより強い電流を要し、誘発される運動は多くの筋肉が同時に収縮することは先に述べた。前補足運動野では新しい記憶を入力するためにさらに負荷がかかる可能性は十分想定できる。

本稿の3症例はサルの検証であったような順序制御に障害は及んでいなかった。そのことは、それぞれの特定動作に異常反応は見られなかったことからわかる。

前補足運動野は習熟を要する動作の獲得に関わり、その部位には、抑制機能が存在する。前補足運動野の損傷により習熟動作である特定動作（使用行動で出現する動作とは異なる）の解放現象が生じ、その動作自体には障害は見られないことが明らかになった。前補足運動野は前大脳動脈の血管支配であり、特定動作の経験を有し、その部位の損傷と合致する頻度は極めて低いと考えられる。本稿の3症例は前補足運動野の機能を考える上で、症候学的に貴重な症例であると考えられた。

5. 謝辞

本研究で症候学的な記録に関して、ご協力いただきました対象者様、および対象者様のご家族様に心より感謝申し上げます。

6. 利益相反

本研究において開示すべき利益相反はない。

参考文献

- 1) 山鳥重：記憶の神経心理学。医学書院，東京，p.3, 2007.
- 2) Penfield W, Welch K: The supplementary motor area of the cerebral cortex. Arch. Neurol. Psychiatr, 66: 289-317, 1951.
- 3) Penfield W, Roberts L: Speech and Brain Mechanism. Princeton University Press, New Jersey, 1959. [前田利男訳：言語と大脳 言語と脳のメカニズム。ペンフィールド，ロバーツ，誠信書房，東京，1970.]

- 4) 山鳥重：神経心理学入門。医学書院，東京，pp.287-288, 1985.
- 5) Kertesz A: Motor Impersistence: A righthemisphere syndrome. *Neurology*, New York, 35:662-666, 1985.
- 6) 福井俊哉，遠藤邦彦，杉下守弘：失書を伴わない左手観念運動失行，左手拮抗失行，左手間欠性運動開始困難症を伴った脳梁損傷の1例。臨床神経学，27(8):1073-1080, 1987.
- 7) Seyffarth H, Denny Brown D: The grasp reflex and the instinctive grasp reaction. *Brain*, 71:110-183, 1948.
- 8) Lhermite F: Utilization Behaviour and its relation to lesion of the frontal lobes. *Brain*, 106:237-255, 1983.
- 9) 塚本能三：高次脳機能障害学 初版。医学書院，東京，pp.104-105, 2009.
- 10) 塚本能三：右手に習熟した運動の解放現象と思われる症状を呈した1例。第20回日本神経心理学会抄録集(札幌)，p.121, 1996.
- 11) 塚本能三：反復学習中の動作の解放現象。 *Brain and Nerve*, 50(10):941-947, 1998.
- 12) 塚本能三，大野恭子，浦上郁子他：左手に物品使用障害等の多彩な症状を認めた脳梗塞の1例 —その2— 「のぞく」動作のみに現れた使用行動～。神経心理学，14(4):262, 1998.
- 13) 丹治順：脳と運動 初版。共立出版，東京，pp.60-77, 1999.
- 14) Matsuzaka Y, Aizawa H, Tanji J: A motor area rostral to the supplementary motor area (presupplementary motor area) in the monkey; Neuronal activity during a learned motor task. *J. Neurophysiol*, 20:149-155, 1992.
- 15) Machev P, Kennard C, Husai M: Functional role of the supplementary and presupplementary motor areas. *Nat rev neurosci*, 9(11):856-869, 2008.
- 16) Tanji J, Shima K: Role for supplementary motor area cells in planning several movements ahead. *Nature*, 371:413-416, 1994.
- 17) 丹治順：脳の高次機能 第4版。朝倉書店，東京，pp.81-93, 2008.
- 18) Brinman C: Supplementary motor area of the monkey cerebral cortex: Short-and long term deficits after unilateral ablation and the effects of subsequent callosal section. *J. Neurosci*, 4(4):918-929, 1984.
- 19) Hikosaka O, Rand Mk, Miyauchi S, Miyashita K: Learning of Sequential movements in the Monkey: process of learning and retention of memory. *J Neurophysiol*, 74:1652-1661, 1995.
- 20) Hikosaka O, Sakai K, Miyauchi S, et al: Activation of human presupplementary motor area in learning of sequential procedures: A functional MRI study. *J. Neurophysiol*, 75:1-5, 1996.
- 21) Hikosaka O, Miyashita K, Sakai K, et al: Role of the medical frontal cortex in sequential procedural learning. *Brain processes and Memory*, pp.299-309, 1996.
- 22) 彦坂興秀：手の順序動作の手続き的学習。神経進歩，42(1):106-115, 1998.
- 23) Miyashita K, Hikosaka O: Differential role of pre-supplementary and supplementary motor areas of monkey in learning and memory of sequential movements. II. Effects of local inactivation. *J Neurophysiol*, 74:1652-1661, 1995.
- 24) 公益財団法人日本バスケットボール協会：バスケットボール指導教本 改定版 上巻。大修館，東京，p.23, 2022.
- 25) 大人からはじめるハノンピアノ教本 —無理のない指のトレーニングのために—。株式会社ヤマハミュージックエンターテイメントホールディングス，東京，p.2, 2021.
- 26) 大野裕明，榎本司：星を楽しむ 天体望遠鏡の使い方。誠文堂新光社，東京，pp.22-42, 2020.