《原 著》

サル頭頂葉の手操作関連ニューロンの視覚反応について
—三次元物体の形態と方位に対する選択性—宮下有紀子*¹ Win Nyi SHEIN*² 村 田 哲*³
田 中 裕二*³ 酒 田 英夫*³

Visual Properties of Hand-manipulation-related Neurons in Macaque Monkey

Yukiko MIYASHITA,*¹ Win Nyi SHEIN,*² Akira MURATA*³
Yuji TANAKA,*³ Hideo SAKATA*³

Abstract: A previous study reported that neurons in the rostral part of the intra-parietal sulcus (area AIP) of the monkey discharge specifically during object manipulation. We studied the visual properties of these neurons during fixation and manipulation of eight different simple three-dimensional objects and two different complicated objects. We also examined the orientation selectivity of neurons using 4 of these objects. Object type neurons were activated by the sight of objects during fixation as well as object manipulation and some were highly selective for complicated objects, such as a knob or plate in a groove. These neurons appear to discriminate the shape of objects. Some neurons showed selectivity for the orientation of the long axis or the surface of objects of different shapes. Moreover, some object type neurons were highly selective for a certain object and its orientation in three-dimensional space. Non-object type neurons were not activated during fixation. However we also recorded from non-object type neurons that responded to complicated objects, these neurons required manipulating hand image to respond. Some non-object type neurons showed orientation selectivity during object manipulation. The visual properties of hand-manipulation-related neurons in area AIP suggest that they are coding object shape and/or orientation, and play an essential role in matching and monitoring the hand shape and orientation for the manipulation of objects. (*Jpn J Rehabil Med* 1998; 35: 926-935)

要 旨: 2頭のサルに様々な形態の三次元物体を操作させ、頭頂葉の手操作関連ニューロンの反応を記録し、明暗の差によって視覚的反応を分離して調べた。操作対象の注視だけで反応する対象型ニューロンの中には複雑な形態に高い選択性を示すニューロンが多く、対象の軸の方位に選択性を示すニューロンや、対象の形態と方位の両方に選択性を示すニューロンもあった。一方、対象の注視だけでは活動しない非対象型ニューロンの中にも複雑な形態を操作する際に選択的に反応するニューロンが多かった。記録部位はヒトにおいてもfMRIで手操作時の活動が報告されており、これらのニューロンは高次の視覚情報を統合し手操作運動の調節に関与すると思われる。(リハ医学 1998; 35: 926-935)

Key words: 手操作関連ニューロン (hand manipulation related neuron), 三次元物体 (3-dimensional object), 三次元方位 (3-dimensional orientation), 視覚反応 (visual response), 頭頂葉 (parietal cortex)

1998年5月21日受付, 1998年10月29日受理

*¹ 日本大学大学院医学研究科外科系整形外科専攻/〒173-8610 東京都板橋区大谷口上町 30-1
Nihon University Graduate School of Medicine Surgery Course

*² 日本大学大学院医学研究科生理学系生理学(I)専攻/〒173-8610 東京都板橋区大谷口上町 30-1
Nihon University Graduate School of Medicine Physiology Course

*³ 日本大学医学部第一生理学教室/〒173-8610 東京都板橋区大谷口上町 30-1
First Department of Physiology, Nihon University School of Medicine

はじめに

頭頂連合野の病変による多彩な症状のなかには手の運動に関係する失行や運動失調が含まれる。ヒトの両側下頭頂小葉の損傷による Balint 症候群では、目で見たい目標を正確に掴めなくなる視覚性運動失調 (optic ataxia)³⁾ がよく知られている。Jeannerod¹²⁾ は一側の後部頭頂葉の病変により対象を掴む前にその形に合わせて手の形を作るプリシェイピング (pre-shaping) が障害されることを明らかにした。また、Perenin と Vighetto²³⁾ は同様な後部頭頂葉の病変で円板にあけたスロットの向きに手の傾き (方位) を合わせて差し入れる課題ができなくなることを報告している。このような症状が脳後方皮質萎縮症⁴⁾ やアルツハイマー病の一部^{10,11)} でも見られることがある。これらのことから、視覚的に目標の空間的特徴を見分け、手の運動パターンをそれに合わせる上で頭頂葉が重要な役割を果たしていると考えられる。

一方、覚醒したサルを用いた神経生理学的研究からも、頭頂連合野が手の運動の視覚的制御に関与していることが示唆されている。Mountcastle ら¹⁸⁾ は無麻酔サルの下頭頂小葉から視覚誘導性の到達運動や手操作に関連して活動するニューロンを記録した。Taira ら²⁸⁾ は手操作課題に関連して活動を示すニューロンを手操作関連ニューロンと名付け、明所と暗所での活動の違いにより、視覚優位型、運動優位型、視覚運動型の3つに分類した。さらに Sakata ら²⁵⁾ は視覚反応のあるニューロンを、対象を注視ただけで反応する対象型 (object type) と対象の注視だけでは反応を示さない非対象型 (non-object type) の2種類に分けた。このようなニューロンの多くが、立方体、円柱、球などの単純な立体の操作対象に選択性をもつことも明らかになった¹⁹⁾。

今回われわれは単純な立体だけでなく、精密な操作を必要とする複雑な形態 (溝内ボタン、溝内小板) も操作対象に用いた。さらに、円柱や角柱などの傾き (方位) を変えて、操作対象の形態や向きに対する手操作関連ニューロンの反応選択性を調べた。

対象および方法

2頭のニホンザルに形の異なる8種類の白色の操作対象 (四角板、円環、立方体、球体、円錐体、円柱、角柱、短円柱) および2種類の複雑な形態の操作対象

(溝内ボタン、溝内小板) を手前に引く操作を訓練した。さらに、これらの操作対象の中で四角板、円環、円柱、角柱については方位 (傾き) を変えて操作または注視させた。本研究を行う前に施行したサルの頭部MRIを参考にし、操作する手と対側の頭頂連合野の前部頭頂間溝領域 (anterior intraparietal area: AIP 野) から課題実行時に活動する単一ニューロン活動をタングステン微小電極で記録した。課題を行う前に、顔面、前肢の皮膚刺激や前肢の各関節に対する刺激を行ったが、触覚や運動感覚などの体性感覚に反応するニューロンはほとんどなかった。

明所での手操作課題: 図1に示すように、発光ダイオード (LED) のスポットをハーフミラーで操作対象の

図1 実験装置(上)と課題の時間的経過(下)

手操作課題: LEDのスポットが赤く点灯するとサルはキーを押す、ハーフミラーを介してスポットを注視する。キーを押すと照明がつき、操作対象がハーフミラーを通じて注視点に呈示される。LEDが緑になると、キーを離し操作対象を掴んで引っ張る。

対象注視課題: LEDが緑に点灯するとサルはキーを押す。照明がつき、サルは対象を注視する。

位置に重ね、スポットが点灯するとサルはこれを注視してキーを押す（注視期）。1秒後にスポットの色が変化するとキーを離し、操作対象を掴んで手前に引き、再びスポットの色が変わるまで保持する（操作期）。

暗所での手操作課題：あらかじめ操作対象をサルに呈示したのち、照明を消してスポットだけを手がかりに前と同様の操作を行わせる。

対象注視課題：サルはキーを押し、操作対象を1.5秒間注視するだけで、操作は行わない。

さらに、注視運動による活動を除外するため、暗所でのLEDの注視課題を行った。

サルの注視は球結膜下に埋め込んだ眼位検出用コイルで検証した。また、暗所での手操作運動は赤外線投光器と上方に設置した小型カメラ（ワテック社製WAT-660）を用いて観察した。

本実験は日本大学医学部動物実験規約に含まれる倫理基準に基づき行われた。

結 果

2頭のサルを使用してそれぞれ一侧の大脳半球の頭頂連合野から単一ニューロン活動を記録した。明所で手操作課題をするときに有意な活動の増加が見られたニューロンは160個であった。このうちタイプ分けが可能で統計上（一元配置分散分析：ANOVAにより）操作対象に関して何らかの選択性が見られたニューロンは63個であった（表1）。このうち明所での操作時に活動がみられるが暗所での操作時は活動のみられない視覚優位型ニューロン（ $N=35$ ）と、暗所でも活動するが明所での活動の方が有意に高い視覚運動型ニューロン（ $N=21$ ）はどちらも何らかの視覚刺激に反応していると考えられるので、これらをまとめて視覚反応性ニューロンとした（ $N=56$ ）。明所と暗所での活

動に差がない運動優位型ニューロンは7個であった。視覚反応性ニューロンのなかで対象を注視しただけで反応する対象型ニューロンは31個あり、対象を注視しただけでは反応しない非対象型ニューロンは25個であった。

1. 対象型ニューロン

今回記録された対象型ニューロン（ $N=31$ ）の中で、ある1種類の操作対象に対する反応が他の操作対象に対する反応に較べ有意（ $p<0.05$ ）に大きい高選択性ニューロンは16個、2種類以上の操作対象に同じような選択性を示す中等度選択性のニューロンはそれ以外の15個であった（表1）。

1.1 形態に選択性を示すニューロン

図2は高選択性の対象型ニューロンの一例で、溝内ボタンに強い反応を示した。明所では手操作に先行する注視期にニューロン活動の上昇があり、操作期にも持続的に活動がみられた（図2A左）。しかし対象が見えない暗所での操作では有意な活動はみられなかった（図2A中）。さらに手操作を伴わない対象注視課題でも持続的な活動がみられた（図2A右）。このニューロンは図2Bのように6種類の単純な立体図形のいずれにも反応しなかった。また、溝と方位の同じ縦の角柱や、構造のよく似た溝内小板にも反応しなかった。したがって、縦の溝とその中のボタンという複合図形に特異的に反応する視覚優位型ニューロンと同定された。このように複雑な形態に高選択性の反応を示すニューロンは溝内ボタンに対して3個、溝内小板に対して2個記録された（図5A参照）。この他に単純な立体図形に選択的に反応するニューロンで四角板が最適な高選択性ニューロンが5個、角柱が最適なものが4個、円環、円柱が最適なものがそれぞれ1個ずつであった。

1.2 方位に選択性をもつニューロン

今回の実験では、四角板、円環、円柱、角柱の方位を三次元的に変化させ、選択性の違いを調べた。これら4つの操作対象のいずれかに選択性を示したニューロンは18個あり、そのうち16個のニューロンで方位選択性が認められた。このうち、2つ以上の操作対象に同じように反応する中等度選択性ニューロンが11個あり、このなかで、対象の形態によらず、軸の方位（axis orientation）に選択性を示すものが4個あった（4/11）。図3のニューロンはその一例で、垂直の角柱と円柱に強い反応を示し、溝内ボタンにも反応した

表1 ニューロンの性質による分類

	視覚反応性ニューロン		運動優位型 ニューロン	計
	視覚優位型	視覚運動型		
対象型 ニューロン	19(10)	12(6)	*	31(16)
非対象型 ニューロン	16(12)	9(4)	*	25(16)
計	35(22)	21(10)	7(2)	63(34)

本実験で記録されたニューロンの数と分類を表に示す。操作対象に対する選択性を調べ、最も高い反応を示す対象が1種類の場合を高選択性ニューロンとして（ ）内に数を示す。

A. 各課題に対する反応

B. 各操作対象に対する反応

図2 複雑な形態に高い選択性を示すニューロン

(A) 各課題に対する反応：このニューロンは暗所での手操作に反応のみられない視覚優位型ニューロンである。操作時だけでなく、対象の注視だけでもニューロン活動がみられる対象型ニューロンである。(B) 各操作対象に対する反応：このニューロンが反応を示すのは溝内小板だけであり、他の操作対象には有意な反応はみられない。

が、溝内小板にはほとんど反応しなかった(図3 A)。また、これらのニューロンは、他の操作対象に対して有意な反応がみられなかった。矢状面での方位選択性を円柱を用いて調べると、垂直な軸(90度)に鋭いピークがみられたが(図3 B)、矢状方向また

は横に水平な円柱には全く反応しなかった。したがって、このニューロンは形態によらず、長軸の方位が垂直な対象に選択的に反応するニューロンと考えられた。なお、溝内小板に対する反応が弱いのは水平な小板が抑制的に働いたためと推測された。

A. 各操作対象に対する反応

B. 方位の変化

図3 方位に選択的なニューロン

(A) 各操作対象に対する反応：垂直の軸をもつ操作対象に反応した対象型ニューロンである。溝内小板に対する反応は低い。これらの操作対象以外には反応を示さなかった。(B) 方位の変化に対する反応：円柱の方位を矢状面で変化させると、垂直の円柱に対する反応が最も高い。

A. 各操作対象に対する反応

B. 方位の変化

図4 形態と方位の両方に選択的なニューロン

(A) 各操作対象に対する反応：垂直の角柱に対して高選択性であり，方位が同じで同じサイズの円柱に対する反応と有意差がある。(B) 方位の変化に対する反応：角柱の方位を前額面で変化させると垂直の角柱に対して最も高い反応を示した。

この他にも、形態によらず垂直の軸に選択性を示すニューロンが2個、矢状方向の軸に選択性を示すニューロンが1個記録された。

軸方位に選択性を示したニューロンは全部で13個、平面方位に選択性を示したニューロンは3個であった。その一方で、円柱、角柱、四角板などで方位選択性が認められなかったニューロンはわずか2個であった。このうち1個は角柱に高い選択性を示し、方位が変化しても選択性が変わらなかった。

1.3 形態と方位の両方に選択的なニューロン

方位に選択的なニューロンのなかには形態にも高い選択性を示すものが多かった。図4のニューロンは垂直の角柱に高い選択性を示した視覚優位型ニューロンで、同じ垂直でも円柱の場合にはほとんど反応しな

った(図4A)。また角柱でも円柱でも矢状方向では反応しなかった。このニューロンの前額面における方位選択性を角柱で調べた結果、垂直方向に高い選択性を示した(図4B)。したがって、このニューロンは長軸の方位に選択性があると同時に、形態にも選択性をもつニューロンと同定された。同様に、ある傾きの角柱に高い選択性を示し、円柱には反応しないニューロンが3個あった。また、四角板に高い選択性を示し円環に反応しなかったニューロン(図6A参照)が2個あった。前者は軸方位と形態の両方に、また後者は平面方位(surface orientation)と形態の両方に選択的なニューロンとみることができる。

2. 非対象型ニューロン

視覚反応性ニューロンのうち、対象を注視しただけ

A. 対象型ニューロン

1. 手操作および注視課題

2. 各操作対象に対する反応

B. 非対象型ニューロン

1. 手操作および注視課題

2. 各操作対象に対する反応

図5 対象型ニューロン(A)と非対象型ニューロン(B)の比較

対象型ニューロンは注視だけでも反応を示すが、非対象型ニューロンは対象の注視だけでは反応しない、いずれも溝内小板に高選択性のニューロンである。非対象型ニューロンでは、キースイッチを離して(図中の点線)からしばらくしてニューロン活動が上昇する。

では反応しない非対象型ニューロンは25個であったが、そのうち高選択性ニューロンは16個、中等度選択性ニューロンは9個であった(表1)。これらのニューロンの性質を対象型ニューロンと比較し、以下に述べる。

2.1 複雑な形態の操作対象に選択的な非対象型ニューロン

複雑な形の対象を操作するときに選択的に反応した非対象型ニューロンは合計7個記録された。その中の5個は溝内小板を示指と拇指を対立させて操作する時にだけ反応する高選択性ニューロン、残りの2個は溝内小板と溝内ボタンの間に有意差のない中等度選択性ニューロンであった。

図5は溝内小板を操作するときに選択的に反応した非対象型の視覚優位型ニューロン(図5B)の反応を

最適な操作対象が同じ対象型の視覚優位型ニューロン(図5A)と対比させた図である。対象型ニューロンは図2の場合と同様に、最適の対象である溝内小板の注視期に持続的な反応を示し、操作期にも続けて反応した(図5A)。非対象型ニューロンは注視期には反応せず、サルがキーを離してから少し時間(約0.2秒)をおいて指先が操作対象に近づいてから反応し始めた(図5B)。したがって操作対象そのものには視覚的に反応せず、操作対象を操作する手の形に反応していると推定されるが、操作対象の影響も無視することはできない。

2.2 方位選択的な非対象型ニューロンと対象型ニューロンの比較

対象型ニューロンだけでなく、非対象型ニューロンの中にも方位に選択性を示すものがあった($N=4$)。

図6 方位選択性をもつ対象型ニューロン(A)と非対象型ニューロン(B)

四角板に高選択性の対象型ニューロンと非対象型ニューロンである。Aの対象型ニューロンは水平の四角板に最も高い反応を示し、方位選択性が認められた。一方、Bの非対象型ニューロンは対象の注視だけでは反応せず、対象の方位の情報は含まれていない。しかしながら、垂直の四角板の操作時に高い選択性が認められた。

図6は四角板に最適な反応を示した非対象型ニューロンの反応を対象型と比較したものである。図6Aは対象型ニューロンで、水平な四角板を操作する時に注視期から持続的な反応を示し操作期まで反応が持続した(図6A1)。前額面で45度おきに方位を変化させて調べると、水平面で最大の反応を示し、左45度ではそれより弱く、垂直では抑制がみられた(図6A2)。このニューロンは、同じ方位の円環や円柱や角柱には有意な反応を示さなかった。これに対して、図6Bは非対象型ニューロンで注視期には反応せず、垂直な四角板を掴む操作期にのみ反応を示した。対象注視課題ではニューロン活動の上昇は見られなかった(図6B1右)。操作期の反応は始めから約0.2秒後、手が対象に近づいた時に上昇した。四角板の方位を変えて調べた結果、垂直の方位に高い選択性を示した(図6B2)。これは手の形と方位の両方に選択性を示したニューロンである。

非対象型ニューロンの中には矢状方向の円柱と角柱と円錐を操作する時に、三者とも同じような活動を示すニューロンも見られた。これはこの3対象を握るときの手の方位がほぼ同じためであろうと思われる。

考 察

以上の結果から、サル頭頂葉のAIP野で記録された手操作関連ニューロンの視覚反応のいくつかの特徴が明らかになった。視覚反応性ニューロンは明所で対象を注視しただけで反応する対象型ニューロンと、明所で対象を操作するときには反応するが注視しただけでは反応しない非対象型ニューロンに分類され、前者は操作対象の視覚像に反応し、後者は主に対象を操作する手の視覚像に反応したと考えられる。今回の実験では対象型が56個中31個、非対象型が56個中25個とほぼ同じ割合であった。これまでの実験から、手操作関連ニューロンの中には球、立方体、円柱などの単純な形(基本形)に選択性を示すもの^{19,20)}があることが知られている。今回の実験から、この他に複雑な形態の操作対象に特異的に反応するニューロンがかなり多いことがわかった。また、三次元的な傾き(方位)に選択性を示すニューロンも数多く($N=16$)記録されたが、その大部分は対象の方位と形態の両方に高い選択性を示すニューロンであった。

1. 複雑な形態に対する選択性

今回記録された対象型ニューロンの中には溝内ボタ

ンや溝内小板のように複雑な形の操作対象だけに反応し、他の単純な立体には反応しない高選択性ニューロンが多かった(5/16)。これらの操作対象の形は細長い溝と丸いボタンまたは四角い板の組合せであり、これらのニューロンには複数の幾何学的要素からなる形態を視覚的に識別する働きがあると推定される。

一方、非対象型の視覚反応性ニューロンの中にも溝内ボタンと溝内小板のどちらかを操作するときだけに選択的に反応するニューロンが多かった(5/16)。これらのニューロンは明所で手操作課題を行わせたときに、初めの注視期には活動せず、操作期にだけ活動した。暗所で手操作課題を行ったときには全く活動しない(視覚優位型)か、著しく減少した(視覚運動型)。これらのニューロンは体性感覚刺激(肢位)に対する反応は示さないで、この差は主に視覚反応の有無によるものと考えられる。したがって、明所での操作期の反応は、操作対象をつかむ手指の形に対する選択的な反応と推定される。すなわち、溝内ボタンを示指の先を屈曲して引っかける鉤状の握りの形(hook grip)または示指と拇指を対立させて掴む、指尖対立(tip opposition)の形に選択的に反応していると推定される。しかしながら、本実験では操作運動とは独立に手の視覚像だけを与えることができない。そのため、手の視覚像に対する反応が運動で増強されている可能性は否定できない。

2. 軸または平面の方位に対する選択性

今回記録した視覚反応性手操作関連ニューロンの中で軸または平面の傾き(方位)に対する選択性を調べたものの大多数(16/18)は方位選択性を示した。方位選択性をもつ対象型ニューロンの中には、形態の異なる対象で、共通する軸の方位に反応するニューロンがいくつか記録された(4/16)。これらのニューロンは形態とは独立して操作対象の三次元的軸方位(傾き)を表現していると思われる。したがって、Arbib²⁾が提唱するように対象の形と方位は独立して処理されている可能性がある。一方、形態と方位の両方に選択性をもつ対象型ニューロンの方がむしろ数が多く(12/16)、形と方位を組み合わせで対象の空間的特徴を表現していると思われる。

また、非対象型ニューロンの中にも方位選択性のあるニューロンが記録された($N=4$)。これらは対象を操作する手の方位を識別していると考えられる。この中には形と方位の両方に選択性を示すものもあり、両

方を組み合わせた手の空間的パターンを表現していると思われる。

3. 手操作関連ニューロンと他の領域との機能的関係

今回われわれが記録を行った AIP 野の手操作関連ニューロンには長軸方位選択性や平方位選択性が見られ、後部頭頂間溝領域 (caudal part of intraparietal sulcus area: cIPS) で記録される長軸方位選択性ニューロン^{14,26,29)} や平方位選択性ニューロン^{27,29)} からの信号を受けている可能性が高いと思われる。また、操作対象の形態に関しては、物体の形や色を識別する視覚の腹側経路¹⁷⁾ の中心である下側頭皮質から AIP 野へ投射する神経結合が報告されており³⁰⁾、この領域から情報が AIP 野に送られている可能性が考えられる。さらに AIP 野は腹側運動前野 (F5 野¹⁶⁾) と密接な結合があることが解剖学的に証明されている⁵⁾。腹側運動前野でも手の運動パターンによって選択的に活動するニューロンが記録されているが³⁸⁾、より運動出力に近い領域²⁴⁾ であり、直接運動野に運動司令を送る¹³⁾。したがって、AIP 野の視覚反応性ニューロンは腹側運動前野を介して対象に合った運動指令を誘発していると考えられる。

4. 手操作関連ニューロンの視覚反応の臨床的意義

本実験で記録を行った AIP 野はヒトにおいては下頭頂小葉の前部に相当する。最近、Binkofski ら⁵⁾ は頭頂葉病変によって視覚性運動失調をきたした症例を頭頂間溝前部領域に病変のある群と後部に病変のある群に分け、前者においては到達運動は障害されずに、手の運動のプリシェイピングの異常だけがおきることを報告した。さらに、健常被験者が傾きの違う物体を把握する際に fMRI 上で両側の AIP 野に相当する部位が活性化されることを示した。したがって、ヒトにおいても AIP 野に相当する部位は、対象の向きや形に関する視覚情報で手の形を制御するために重要な役割を果たしているに違いない。また、牧ら¹⁵⁾ は、両側頭頂葉に優位な萎縮が認められる症例において、到達運動には異常がないが、視覚に基づいて手の傾き (方位) を対象の傾きに合わせるができないことを報告している。以上の例からヒトにおいても手の運動は到達運動とは独立して、対象の視覚情報の影響を強く受けていることが伺える。今回の実験の結果は、特に対象の軸または方位に選択性を持つ手操作関連ニューロンが多いことを示しており、このような臨床像

を理解する上で基礎的な根拠となりうると思われた。さらに、溝内小板の操作のように拇指と示指を対立させる精密つまみは AIP 野を含む領域を破壊されたアカゲザルにおいて障害されるという報告や⁹⁾、ヒトにおいても感覚野より後方の頭頂葉障害で視覚誘導性の対立つまみができなくなる症例が報告され²²⁾、体性感覚障害と関連しない手指の巧緻性の障害の例が紹介されている²¹⁾。一方、頭頂連合野は保たれているが、側頭葉の腹側視覚経路が障害されている症例では、対象の形態の認識ができないにも関わらず、対象の長軸を示指と拇指で正確につまむことができることが報告されている⁷⁾。また Castiello ら⁶⁾ は健常者がリングなどの物体を掴む際、照明によりシルエットしか見えない場合と陰影で立体的な形が見える場合とでは手のプリシェイピングが異なり、シルエットでは円盤をつまむような手の形になるが、陰影のある場合には球を掴む手の形になると報告している。こうした例から、特に把握動作の運動制御過程では視覚的要素が重要であると考えられる。

最近、手の運動麻痺のリハビリテーションに新しい方法として視覚的制御を取り入れる方法が試みられている。Ada ら¹⁾ は手の機能訓練で手の運動をいかにして操作対象の特徴に合わせるかを学習する必要がある、そのために手の運動のコントロールに視覚を用いる訓練が特に重要であると述べている。なかでも対象の形、大きさ、傾きに手の形や指の開き方や傾きを合わせるプリシェイピングが重要であると述べている。本研究の結果はそのような視覚的訓練の方法に有益な示唆を与えるであろう。

結 語

頭頂葉の AIP 野では対象の三次元的形態と傾き (方位) に手の形や傾きをあわせる上で必要な視覚情報を統合し、手操作運動の制御の過程で重要な役割を果たしていることが示唆された。

稿を終るにあたり研究の御理解、御支援を頂きました整形外科科学佐藤勤也教授と医局の皆様へ深謝致します。

文 献

- 1) Ada L, Canning CG, Carr JH, Kilbreath SL, Shepherd RB: task specific training of reaching and manipulation. *in* Insights into the Reach to Grasp Movement (ed by Bennet KMB, Castiello U). El-

- sevier Science, Amsterdam, 1994; pp 239-265
- 2) Arbib MA: Perceptual structures and distributed motor control. *in* Handbook of Physiology (ed by Brooks V). American Physiological Society, Bethesda, 1981; pp 1449-1480
- 3) Bálint R: Seelenlähmung des "Schauens," optische Ataxie, räumliche Störung der Aufmerksamkeit. *Monatsschr Psychiatr Neurol* 1909; **25**: 51-81
- 4) Benson DF, Davis RF, Snyder BD: Posterior cortical atrophy. *Arch Neurol* 1988; **45**: 789-793
- 5) Binkofski F, Dohle C, Posse S, Stephan KM, Hefter H, Seitz RJ, Freund HJ: Human anterior intraparietal area subserves prehension, a combined lesion and functional MRI activation study. *Neurology* 1998; **50**: 1253-1259
- 6) Castiello U, Bonfiglioli C, Bennett KMB: How perceived object dimension influences prehension. *NeuroReport* 1996; **7**: 825-829
- 7) Dijkerman HC, Milner AD, Carey DP: The perception and prehension of objects oriented in the depth plane. I. Effects of visual form agnosia. *Exp Brain Res* 1996; **112**: 442-451
- 8) Gallese V, Fadiga L, Fogassi L, Luppino G, Murata A: A parietal-frontal circuit for hand grasping movements in the monkey: Evidence from reversible inactivation experiments. *in* Parietal Lobe Contributions to Orientation in 3D Space (ed by Their P, Karnath H-O). Springer-Verlag, Heidelberg, 1997; pp 255-270
- 9) Haaxma R, Kuypers HGJM: Intrahemispheric cortical connexions and visual guidance of hand and finger movements in the rhesus monkey. *Brain* 1975; **98**: 239-260
- 10) Hof PR, Bouras C, Constantinidis J, Morrison JH: Selective disconnection of specific visual association pathway in cases of Alzheimer's disease presenting with Balint's syndrome. *J Neuropathol Exp Neurol* 1990; **49**(2): 168-184
- 11) 古本英晴, 山田達夫, 吉山容正, 得丸幸夫, 平山恵造: Balint 症候群を伴う Alzheimer 型痴呆. *神経心理学* 1989; **5**(2): 117-123
- 12) Jeannerod M: The formation of finger grip during prehension: a cortically mediated visuomotor pattern. *Behav Brain Res* 1986; **19**(12): 99-116
- 13) Kurata K: Corticocortical inputs to the dorsal and ventral aspects of the premotor cortex of macaque monkeys. *Neurosci Res* 1991; **12**: 263-280
- 14) Kusunoki M, Tanaka Y, Ohtsuka H, Ishiyama K, Sakata H: Selectivity of the parietal visual neurons in the axis orientation of objects in space. *Soc Neurosci (abstr)* 1993; **19**: 770
- 15) 牧 徳彦, 池田 学, 銚石和彦, 佐野 輝, 田辺敬貴: Progressive posterior cerebral dysfunction の一症例. *神経心理学* 1998; **14**: 49-54
- 16) Matelli M, Luppino G, Rizzolatti G: Patterns of cytochrome oxidase activity in the frontal agranular cortex of macaque monkey. *Behav Brain Res* 1985; **18**: 125-137
- 17) Mishkin M, Ungerlider LG, Macro KA: Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends Neurosci* 1983; **5**(10): 414-417
- 18) Mountcastle VB, Lynch JC, Georgopoulos A, Sakata H, Acuna C: Posterior parietal association cortex of the monkey: command functions for operations within extrapersonal space. *J Neurophysiol* 1975; **38**(4): 871-908
- 19) Murata A, Gallese V, Kaseda M, Kunitomo S, Sakata H: Hand-manipulation-related neurons of the parietal cortex of the monkey: further analysis of selectivity in shape, size, and orientation of objects for manipulation. *Jpn J Physiol* 1993; **43** (suppl 2): S 251
- 20) Murata A, Gallese V, Kaseda M, and Sakata H: Parietal neurons related to memory-guided hand manipulation. *J Neurophysiol* 1996; **75**(5): 2180-2186
- 21) Pause M, Kunesch E, Binkofski F, Freund HJ: Sensorimotor disturbances in patients with lesions of the parietal cortex. *Brain* 1989; **112**: 1599-1625
- 22) Pause M, Freund HJ: Role of the parietal cortex for sensorimotor transformation. *Brain Behav Evol* 1989; **33**: 136-140
- 23) Perenin MT, Vighetto A: Optic ataxia: a specific disruption in visuomotor mechanism. I: Different aspects of the deficit in reaching for objects. *Brain* 1988; **111**(3): 643-674
- 24) Rizzolatti G, Camarda R, Fogassi M, Gentilucci M, Luppino G, Matelli M: Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. II. Area F5 and control of distal movements. *Exp Brain Res* 1988; **71**(3): 491-507
- 25) Sakata H, Taira M, Murata A, Mine S: Neural mechanisms of visual guidance of hand action in the parietal cortex of the monkey. *Cereb Cortex* 1995; **5**(5): 429-438
- 26) Sakata H, Taira M, Murata A, Tanaka Y: The TINS Lecture; The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action. *Trends Neurosci* 1997; **20**(8): 350-357
- 27) 志方えりさ, 高須俊明, 田中裕二, 泰羅雅登, 酒田英夫, 中村浩幸: サル頭頂連合野の両眼視ニューロンの平面方位選択性. *日大医誌* 1996; **55**(5): 316-323
- 28) Taira M, Mine S, Georgopoulos AP, Murata A, Sakata H: Parietal cortex neurons of the monkey related to the visual guidance of hand movement. *Exp Brain Res* 1990; **83**: 29-36
- 29) Tsutsui K, Taira M, Jiang M, Sakata H: Representation of 3D visual feature by neurons in monkey caudal intraparietal sulcus. *Soc Neurosci (abstr)* 1997; **23**(2): 1546
- 30) Webster MJ, Bachevalier J, Ungerlider LG: Connection of inferior temporal area TEO and TE with parietal and frontal cortex in macaque monkeys. *Cereb Cortex* 1994; **4**(5): 470-483