

# 視運動覚検査法の開発と正常値

中村 靖, 大塚 賢二

札幌医科大学眼科学教室

## 要 約

近年の神経生理学的研究により, 視覚情報は視運動覚系と形態覚系の独立した系で特異的に処理されていることが明らかとなった。しかし, これまで視力, 色覚などの形態覚系を評価する検査方法は数多くあるが, 視運動覚系を特異的に評価する検査法はなかった。そこで, 本研究では視運動覚を評価する目的で, ランダムドットパターンを用いた motion discrimination task (MDT) を作製し, 12~63 歳 (33.0±17.4 歳, 平均値±標準偏差) の正常者 90 人においてその応答特性を記録した。本検査は, 上

記の年齢において安定した検査結果を得ることができ, また, 視力 0.01 以上において視力に影響されることがなく, 視運動覚を評価することができた。これらのことから, MDT は視運動覚機能を評価する臨床検査として有用であると考えられた。(日眼会誌 99:1175-1180, 1995)

キーワード: Motion discrimination task, 視運動覚, 臨床検査

## Motion Discrimination as a Test for Visual Motion Perception

Yasushi Nakamura and Kenji Otsuka

Department of Ophthalmology, Sapporo Medical University School of Medicine

### Abstract

Recent neurophysiological studies have indicated that there are two parallel pathways in vision processing independently shape and motion. There are many methods for examining perception of color and shape, but none for examining visual motion perception. In this study we devised a "motion discrimination task (MDT)" for evaluating motion perception, which was displayed on a computer monitor, and recorded normal responses to the MDT in 90 normal subjects. Responses to MDT

were not affected by visual acuity, but were affected by dot speed of the MDT. There was little trial-to-trial or subject variability in the MDT. These findings indicate that our MDT is a good clinical test for evaluating motion perception in human subjects. (J Jpn Ophthalmol Soc 99:1175-1180, 1995)

Key words: Motion discrimination task, Visual motion perception, Clinical test

## I 緒 言

近年のサルを用いた神経生理学的研究により, 視覚情報は図形に特異的に応答する形態覚系と視覚の運動成分に特異的に応答する視運動覚系の二つの独立したシステムにより処理されることが知られている<sup>1)~3)</sup>。視覚情報の中で, 視運動覚系はサルの上側頭溝内にある middle temporal area (MT 野) において特異的に処理されると考えられ<sup>3)</sup>, ヒトにおいても解剖学的にサルの MT 野に相当する部位が存在することが示唆されている<sup>1)4)5)</sup>。Zihl ら<sup>6)7)</sup>は視機能の中で, 視力, 色覚などの形態覚系の障害がなく, 選択的に視運動覚系が障害されている脳梗塞患

者の症例, いわゆる motion blind の症例を報告し, 臨床的にヒトにおいても形態覚系の情報と視運動覚系の情報では異なるシステムによって処理されていることを示した。

Newsome ら<sup>3)</sup>はサルにおいてランダムドットパターンを用い, motion discrimination task (MDT) を作製し, Saltzman ら<sup>8)</sup>や Britten ら<sup>9)</sup>はサルにおいて MDT が MT 野の機能を特異的に評価していることを示唆した。これまで眼科領域の検査において, 視力測定や色覚検査など形態覚系を主に評価する検査法はあったが, 視運動覚系を特異的に評価する検査法はなかった。そこで, 今回我々は, ヒトの視運動覚系を評価する目的で正常被検

別刷請求先: 060 北海道札幌市中央区南1条西16丁目 札幌医科大学眼科学教室 中村 靖  
(平成7年2月21日受付, 平成7年7月3日改訂受理)

Reprint requests to: Yasushi Nakamura, M.D. Department of Ophthalmology, Sapporo Medical University School of Medicine. Minami-1 Nishi-16, Chuou-ku, Sapporo-shi, Hokkaido 060, Japan.

(Received February 21, 1995 and accepted in revised form July 3, 1995)

者においてMDTを施行し、本検査が臨床検査法として有用であると思われたので報告する。

## II 対象および方法

対象は、12～63歳まで $33.0 \pm 17.4$ 歳(平均値 $\pm$ 標準偏差)の矯正視力0.8以上の視野欠損を認めない正常被検者90名である。

MDTのための視覚刺激は、アセンブラで自作した刺激発生プログラムを用いて、パーソナルコンピューター(EPSON社製のPC 486 GR, CPUは25 MHz 486 SX)でCRT(NEC社製のPCKD 854, refresh time=16 msec)に視角25度の正方形の範囲に80個のドットを提示させた。それぞれのドットは、直径視角0.75度の円形で、輝度は $7.43 \text{ cd/m}^2$ の白色で表示した(ミノルタLS 100で計測)。

80個のドットは、16 msecに1度という速い速度で連続的に表示された。80個のドットのうち、あるものはCRT画面内をある一定方向、一定速度(15 deg/sec)で移動させた(有効刺激と定義)。残りのドットは、速度、方向ともにランダムに提示させた(ノイズ刺激と定義)(図1)。タスクは有効刺激の割合(有効刺激率)を0～30%まで5%きざみで変化させ、有効刺激の方向は水平(左右)あるいは垂直(上下)の2種類を作製した。したがって、水平用(垂直用)のタスクには有効刺激率および刺激方向の異なる13種類の刺激をそれぞれ10回ずつ、合計130回の画面に提示した。

被検者はある一定の明るさの部屋において、CRTから30 cm離れて、両眼開放かあるいは片眼をガーゼで遮蔽した状態で、MDTの有効刺激方向について左右(上下)どちらか強制的にキーボードで判定させ(例えば、水平方向のタスクでは右か左のどちらか)、その正答率を求めた。視覚刺激は、被検者が判定するまでCRTに表示され、判定後速やかにCRTに次のタスクを表示させた。

このMDTを両眼で正常被検者90名に施行し、被検

者がCRTにMDTを提示してからキーボードによって判定するまでの時間(反応速度)、および有効刺激に対する被検者の正答率を求めた。次に、6名の正常被検者において、視力およびコントラスト感度の変化に対する反応を検討するために、バンガーターフィルターを用いて視力を1.0, 0.1, 0.01に変化させ、片眼でMDTを施行した。次に、速度変化に対する反応(矯正視力0.8以上の正常被検者4名)を検討するために、有効刺激のドットの移動速度を15, 25, 45 deg/secに変化させてMDTを施行した。さらに、刺激提示位置と正答率との関係について検討するため、矯正視力0.8以上の被検者3名において、固視点を刺激画面の右または左に置き、これを固視しながらMDTを提示して、MDTの鼻側視野提示と耳側視野提示を施行した。さらに、中心視野と傍中心視野の正答率の関係を検討するため、3名の被検者において、視角25度の正方形のうち、周辺を隠して中央の視角12.5度の正方形の範囲(固視点をその中心に設けて)に提示した場合(中心視野)と中央の12.5度の正方形の範囲を隠し、その中心に固視点を設定して、その周辺にMDTを提示した状態(傍中心視野)でMDTを施行した。また、年齢の違いによりMDTの応答に差がないかどうか検討するため、年齢を若年者、青年者、老年者に分けて検討した。若年者は12～20歳の $16.4 \pm 2.2$ 歳(平均値 $\pm$ 標準偏差)35名、青年者は21～40歳までの $26.3 \pm 3.0$ 歳20名、老年者は41～63歳までの $53.3 \pm 7.0$ 歳35名である。3群に分け、正答率および反応時間について検討した。

## III 結果

### 1. 正常被検者90人におけるMDTの結果

ドット数は80個、速度は15 deg/sec、大きさは視角0.75度のMDTに対する正常被検者の応答結果を図2に示す。グラフは有効刺激率に対する全年齢の正答率の平均値である。MDTの有効刺激の方向依存性は認められず、左右、上下方向について同様の結果が得られ、水平

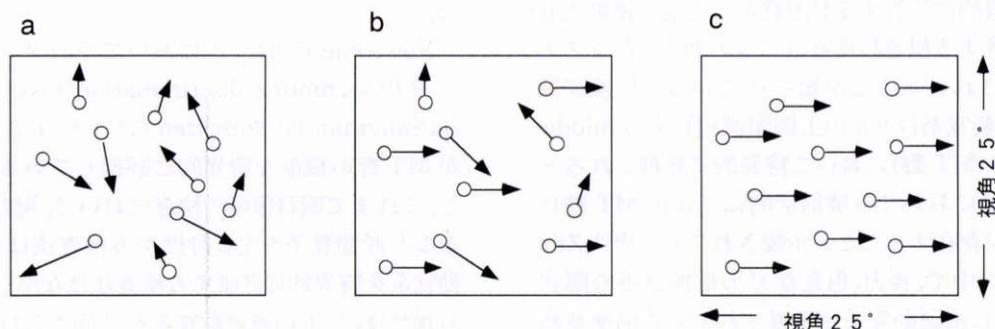


図1 Motion discrimination task (MDT)の提示方法。

a: 視角25度の正方形の範囲内に有効刺激率0%の時のホワイトドットの動きを表した図である。ホワイトドットはすべて方向速度ともにランダムに移動する。b: 右方向への有効刺激率50%の時のドットの動きを表した図である。この図では50%のドットが右方向へ一定速度で移動しており、残りのドットは方向速度ともランダムに移動する。c: 右方向への有効刺激率100%の時のドットの動きを表した図である。すべてのドットが右方向へ一定速度で移動している。○→: 右方向への有効刺激 ○↗: ランダムの刺激

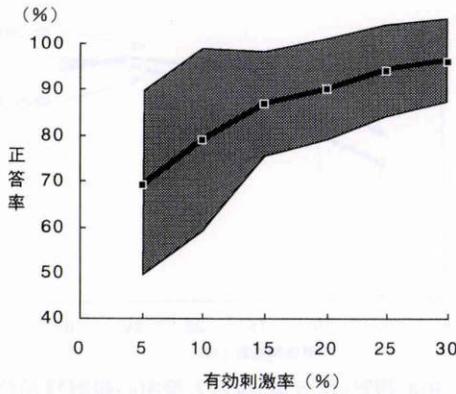


図2 正常被検者90名(平均年齢33.0±17.4歳)のMDTの応答結果。

有効刺激率が高くなると正答率も上昇する。グレイトーンの部分は95%信頼区間を表す。

垂直方向について比較しても有意な差は認められなかった。このため、図2は4方向の平均値である。図の斜線部分は有意水準95%の信頼区間を表した。グラフで示されたように、有効刺激率が高いほど正答率は上昇した。

2. MDTの視力・コントラスト感度変化に対する依存性

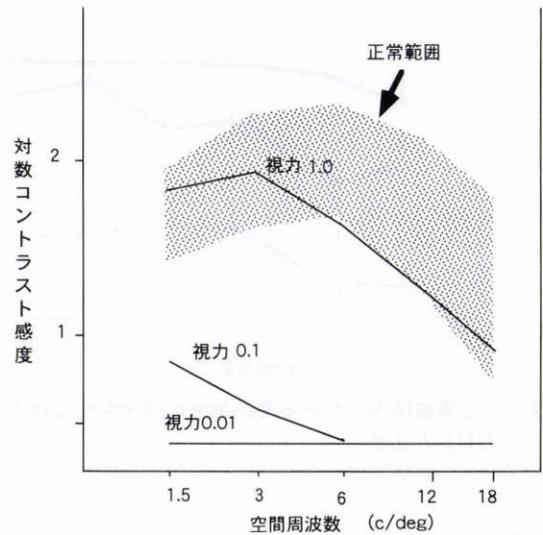
MDTが視運動覚系に特異性があり、視力およびコントラスト感度に依存しない検査であることを確認する目的で、バンガーターフィルター(眼鏡箔)を用い、視力およびコントラスト感度を低下させ、6名の被検者においてMDTを測定した。バンガーターフィルターにより、視力を1.0, 0.1, 0.01の3段階に変化させた。コントラスト感度をVISTECH CONSTULANTS社製のContrast Sensitivity Chartを用いて測定した。図3aのようにバンガーターフィルターにより、視力およびコントラスト感度は低下した。各視力で測定したMDTは図3bのような結果が得られた。視力およびコントラストを著しく低下させたにもかかわらず、前述の正常対照群と全く同様の正答率が得られ、また、統計学的(分散分析法)にも視力1.0と0.01で有意な差は認めなかった。

3. MDTの有効刺激の速度変化に対する依存性

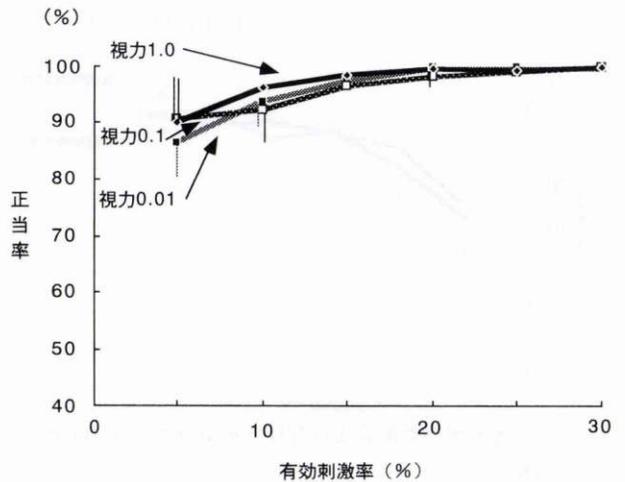
MDTの有効刺激の速度に対する依存性について、4名の被検者において検討した。図4は水平方向での測定結果で、ドットの移動速度の上昇に伴い正答率の低下が認められた。図に示された通り、25 deg/secになると運動方向の判定が難しくなり、45 deg/secになるといずれの有効刺激率においてもその正答率は50%近い値を示し、運動方向の判定は困難であった。正答率の低下は危険率1%で統計学的(分散分析法)に有意であった。

4. MDTの刺激提示位置に対する依存性

MDTの刺激提示位置に対する依存性について、3名の被検者において検討した。図5は有効刺激が鼻側視野刺激と耳側視野刺激におけるMDTの結果である。グラフに示されるように、提示位置を鼻側視野にしても耳側



a



b

図3

a: 正常被検者にバンガーターフィルターを装用したときのコントラスト感度変化。視力をバンガーターフィルターによって低下させるとコントラスト感度も低下する。b: 正常被検者の視力変化に対するMDTの結果。視力を0.01に低下させても視力1.0と変わらない結果が得られた。

視野にしても有意な差は認められなかった。

次に、有効刺激が中心視野刺激と、その周辺の傍中心視野刺激を刺激視野面積を等しくして3名の被検者に行ったところ、図6のようなMDTの結果を得た。中心視野刺激と傍中心視野刺激では傍中心視野刺激においてわずかな正答率の低下が認められ、有効刺激率10%において正答率に有意差が認められた(t検定, p<0.05)。

5. MDTの年齢に対する依存性

MDTの年齢依存性について検討した。図7は各年代の正答率である。どの年齢においてもMDTの応答はほぼ類似した応答を示し、有意差は認められなかった。年齢によりMDTの正答率に変化はなかった。

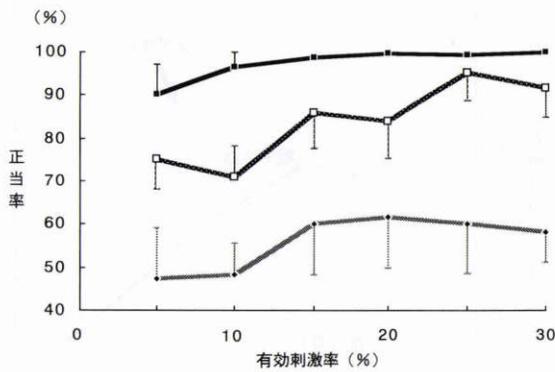


図4 正常被検者における有効刺激の速度変化に対するMDTの結果。

ドットの移動速度の上昇に伴い正答率の低下が認められた。

■ : 15 deg/sec  
□ : 25 deg/sec  
◆ : 45 deg/sec

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.001$

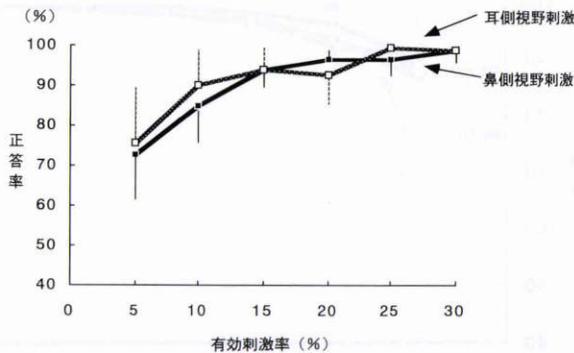


図5 鼻側視野刺激および耳側視野刺激時のMDTの結果。

鼻側および耳側網膜におい MDT の結果に差は認められない。

6. MDTの反応時間

各年代におけるMDTの反応時間を図8に示す。有効刺激率が上昇すると反応時間は短くなる。これは、すべての年齢層で同様の傾向が認められた。年齢別平均反応時間は平均値±標準偏差で示すと、若年者 3.36±1.18 sec, 青年者 1.45±0.69 sec, 老年者 3.90±1.69 sec であり、

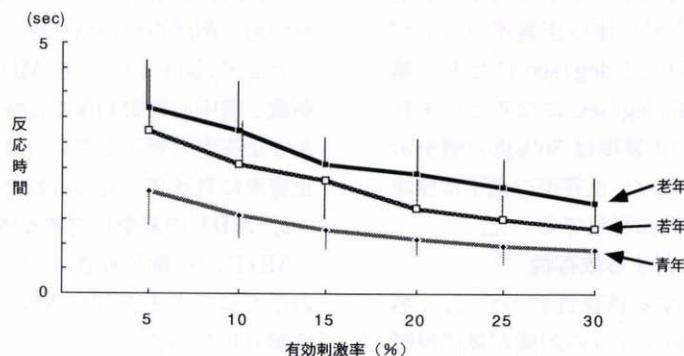


図8 年齢変化に対するMDTの反応時間。有意差が認められた。

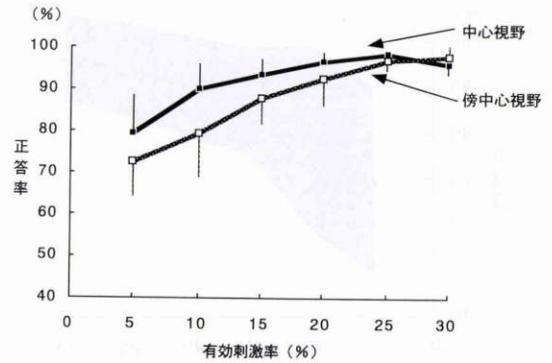


図6 中心視野(12.5度)提示と傍中心視野提示位置によるMDTの結果。

傍中心視野の方に若干の正答率の低下が認められ、有効刺激率10%において有意な低下が認められた。

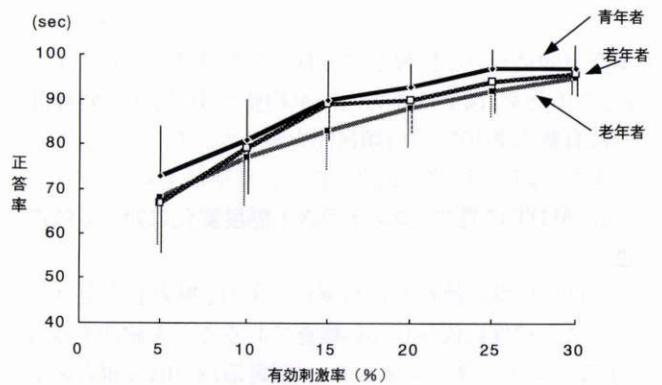


図7 各年代におけるMDTの正答率。

各年代間においてMDTの正答率は変わらなかった。

若年者と青年者および青年者と老年者の間に統計学的(分散分析法)に危険率0.1%で有意差が認められた。

IV 考 按

視運動覚系とは、視覚情報の中でも視覚の運動成分を特異的に処理する系であり、これまでの神経生理学的研究により視力や色覚などの図形を特異的に処理する形態覚系とは全く異なるシステムにより処理されていることが明らかとなった<sup>1)~3)6)</sup>。この視運動覚系の大脳皮質局在部位の同定は、サルにおいてまず明らかにされた。サルの

後頭葉に存在する一次視覚野(V1)に入力された視覚情報のうち、視運動覚情報はV2あるいはV3(いずれもV1近傍に存在)を介して、上側頭溝後壁に存在するMT野(V5とも呼ばれている)によって処理されると考えられている<sup>2)</sup>。また、一次視覚野を介さず、外側膝状体から直接MT野に入力する経路もあることが示唆されている<sup>1)</sup>。

Zekiら<sup>1)</sup>はヒトにおいて、視覚情報を負荷してポジトロンCTを用いて局所脳血流量(regional cerebral blood flow, rCBF)の増加を計測することにより、ヒトにおいてもサルと同じように形態覚系と視運動覚系の2系統の処理システムがあることを示唆した。これによると、ヒトの視運動覚野はBrodmann 19野と37野の接合部近傍に存在している。

Zielら<sup>6)</sup>は43歳女性で、脳梗塞によって視運動覚系が選択的に障害された症例を報告した。これによると、患者はカップに注ぐ紅茶やコーヒーが凍って見えたり、通りを渡るときに遠くの車が突然すぐ近くまでやってきて、車の動きがわからなくて渡るのが恐ろしいと感じると報告している。このように、ヒトにおいてもサルにおいても明らかにされているように視運動覚を特異的に処理する大脳皮質の領域が存在し、また、視運動覚障害の症例も存在している。しかしながら、視運動覚を臨床的に評価する方法はなかった。

Nakayamaら<sup>10)</sup>はヒトにおいて、ランダムドット刺激を用いてmotion sensitivityとposition sensitivityの混合から、motion sensitivityを分離できるか検討した。その結果、時間周波数が高くなると、ランダムドット刺激からの運動方向の認知閾値は低下することを示した。このことから、ランダムドット刺激はposition sensitive mechanismからmotion sensitive mechanismを分離でき、運動情報はposition sensitivityからは誘導できないことを示唆した。つまり、MDTのようなランダムドット刺激が運動情報を検査する上で非常に有用であることを示した。

Newsomeら<sup>3)</sup>、Salzmanら<sup>8)</sup>はMDTを用いて、サルのMT野の破壊実験によりMDTの閾値が上昇することを示し、MDTがMT野に特異性があることを示唆した。さらに、Brittenら<sup>9)</sup>はこのサルにおけるMDTの心理物理学的な応答とMT野のneuron応答の反応パターンがほぼ一致していることを指摘し、心理物理学的な応答とneuronの応答に関連があることを示唆した。これらの研究から、MDTはサルのMT野の機能を特異的に評価すると考えられる。

今回の視力変化の結果から、図3bで示されるように視力1.0と視力0.05とで正答率に全く変化は認められなかった。これらのことから、視力、コントラスト感度という形態覚系の機能を低下させてもMDTは影響を受けない。したがって、視力およびコントラスト感度に影響

されることなく、MDTを用いて視運動覚を評価することができると考えられた。

また、MDTの正答率はドットの速度に依存しており、有効刺激の速度を上昇させると、それに対応してMDTの正答率の低下が認められた。臨床検査としてMDTを用いる場合は、15 deg/sec前後の速度を用いることにより、正確な視運動覚の評価を行えると考えられた。

MDTの視野依存性は鼻側視野刺激、耳側視野刺激ともに依存性は認められなかった。しかし、中心視野(15度以内)のMDT正答率は傍中心視野(15~30度以内)の正答率より有効刺激率10%において有意に高かった(p<0.05)。他の有効刺激率において正答率に有意差がなかったことを考え合わせると、MDTの正答率は中心視野の方が傍中心視野よりわずかに優れていると考えられた。

MDTの反応速度は有効刺激率が上昇するほど反応速度は速くなった。つまり、タスクが簡単になるほど反応は速いという傾向があった。年齢別に検討すると、反応速度は青年層が最も速かったが、MDTの正答率は12歳以上のどの年齢においても一定しており、年齢が異なっても比較することが可能であると考えられた。このことと視力が低下していても検査の結果に影響がないということは、臨床検査として非常に有利であると考えられた。

今回我々は、正常被検者90名においてMDTを施行し、その応答特性を示した。MDTは視力0.01以上において施行可能であり、視力の影響を受けない。また、12歳以上の被検者に対して施行可能であり、各年齢において安定した結果を得ることができた。以上の結果から、MDTは被検者間、年齢間でばらつきが少なく、ある程度視力が低下していても結果に変わりがないため、MDTは視運動覚を評価するための臨床検査として有用であると考えられた。

最後にMDTのプログラムの作成に多大な御協力をいただいた誠心眼科病院診療部長、前川 浩先生に深謝申し上げます。

## 文 献

- 1) Zeki S: A Vision of the Brain. Blackwell, Oxford, 1993.
- 2) Ungerleider LG, Desimone R: Cortical connections of visual area MT in the macaque. J Comp Neurol 248: 190-222, 1986.
- 3) Newsome WT, Pare EB: A selective impairment of motion perception following lesion of the middle temporal area (MT). J Neurosci 8: 2201-2211, 1988.
- 4) Corbetta M, Miezin FM, Dobmeyer S, Shulmann GL, Petersen SE: Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: Functional anatomy by positron emission tomography. J Neurosci 11: 2383-2402, 1991.

- 5) **Zeki S, Watson JD, Lueck CJ, Friston KJ, Kennard C, Frackowiak RS**: A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *J Neurosci* 11: 641-649, 1991.
- 6) **Zihl J, Von Cramon D, Mai N**: Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain* 106: 313-340, 1983.
- 7) **Zihl J, Von Cramon D, Mai N, Schmid CH**: Disturbance of movement vision after bilateral posterior brain damage. *Brain* 114: 2235-2252, 1991.
- 8) **Salzman CD, Britten KH, Newsome WT**: Cor-tical microstimulation influences perceptual judgements of motion direction. *Nature* 346: 174-177, 1990.
- 9) **Britten KH, Shadlen MN, Newsome WT, Movshon JA**: The analysis of visual motion a comparison of neuronal and psychophysical performance. *J Neurosci* 12: 4745-4765, 1992.
- 10) **Nakayama K, Tyler CW**: Psychophysical isolation of movement sensitivity by removal of familiar position cues. *Vis Res* 21: 427-433, 1981.
- 11) **Davson H**: *Physiology of the Eye* 15th ED. Macmillan Press, London, 486-514, 1990.