

両眼視差とコントラストが Troxler 効果に与える影響

寺尾春香¹⁾・高橋伸子²⁾

Effects of binocular disparity and contrast on Troxler effect

Haruka TERAO and Nobuko TAKAHASHI

Troxler 効果とは、周辺に呈示した刺激が一定の潜時をおいて、一時的に消失したり、明るさが減少したりする現象であり(Troxler,1804)、固視点からの刺激の偏心度が大きいほど、刺激のコントラストが低いほど(Gonzalez,Weinstock,& Steinbach,2007)、効果は大きくなることが知られている。この効果は、注視事態での周辺網膜における局所順応の結果として生じると考えられている(Clarke & Belcher,1962)。本研究では、Troxler 効果における3次元的な距離の効果及びコントラストの効果을明らかにするため、ターゲット刺激の視差及びコントラストを変化させ、固視点からの距離やコントラストが知覚消失潜時に及ぼす影響について検討した。実験の結果、(1)知覚消失潜時は、ターゲット刺激に視差がある条件でない条件に比べて有意に短く、(2)視差による奥行き距離のほうが、同一奥行き面上の2次元の距離よりも短い距離で、知覚消失潜時の減少に効果を及ぼすこと、また(3)コントラストの減少に比例して知覚消失潜時が減少することが明らかになった。

Keywords : トロクスラー効果, 両眼視差, 偏心度

Troxler effect , binocular disparity, eccentricity

1. はじめに

Troxler 効果とは、注視事態で周辺網膜における局所順応の結果として生じると考えられている効果で(Clarke & Belcher,1962)、視野周辺に呈示したターゲット刺激が一定の潜時をおいて、一時的に消失したり、明るさが減少したりして知覚される現象である(Troxler,1804)。Clarke(1961)および Clarke & Belcher(1962)によれば、知覚が消失するまでの時間(知覚消失潜時)は、ターゲット刺激の中心固視点からの偏心度に依存し固視点からの呈示距離が大きくなるほど、ターゲット刺激の輝度が低いほど、また面積が小さいほど知覚消失潜時が短くなる。大きさ 5deg(視角)のターゲット刺激を固視点からの偏心度 20deg の位置に呈示した場合、知覚消失潜時は平均 6.4 秒であることが報告されている。また、刺激の知覚消失潜時は正確な固視が可能の場合に著しく短くなる傾向にある(Clarke & Belcher, 1962)。

北岡(2008)によると、Troxler 効果は、どこか1点を見つめたとき、周辺にある視覚像が消えて見える消失錯視のひとつであり、視覚像が消えやすいのは、背景輝度と刺激の輝度が近く、境界のはっきりしない像であると述べている。図1に北岡による Troxler 効果の例を示す。図1は、円の中心に黄色の境界のぼやけた固視点があり、環状に12個の青色の境界のぼやけた円形ターゲット刺激が配置されている。黄色の固視点を注視していると、青色のターゲット刺激の一部が消えたり、暗くなったりして知覚される。

1.1 Troxler 効果における偏心度の効果

Lou(1999)は、固視点からターゲット刺激までの距離である偏心度と Troxler 効果の関係について

1) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻 学部生

2) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻

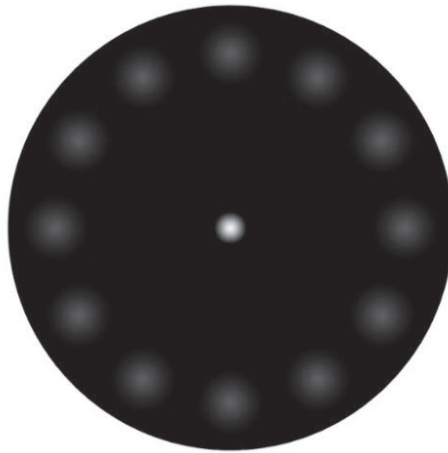


図1 北岡(2008)による Troxler 効果の消失錯視「蛍」

明らかにするために、ターゲット刺激の消失頻度、注意を向けたターゲット刺激の消失頻度、ターゲット刺激が呈示されてから消えたと知覚されるまでの知覚消失潜時(Latency)、ターゲット刺激が消えたと知覚されてから再び知覚されるまでの消失持続時間(Duration)、消失したターゲット刺激数につ

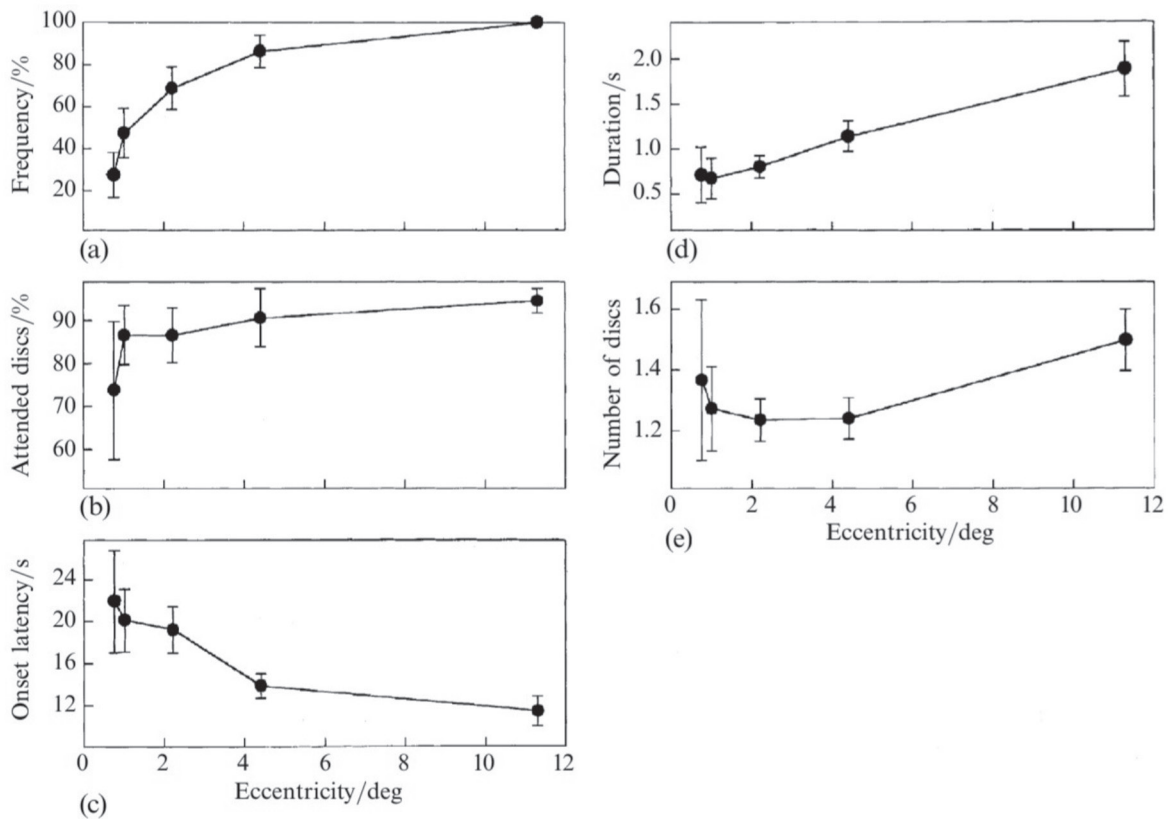


図2 偏心度が Troxler 効果に与える影響 (Lou, 1999)

(a)消失頻度, (b)注意を向けたターゲット刺激の消失頻度, (c)知覚消失潜時, (d)消失持続時間, (e)消失したターゲット刺激数

いて測定した。ターゲット刺激の偏心度は、0.8deg, 1.0deg, 2.2deg, 4.4deg, 11.3deg の5条件であった。被験者への課題は、中心の固視点を注視しながら、6個のターゲット刺激のうち、少なくとも1個のターゲット刺激が消えたとき知覚されたらすぐにキーを押し、少なくとも1個のターゲット刺激が知覚的に出現するまでキーを押し続けるというものであった。最長の呈示時間は40秒間であり、被験者は、最初にキーが押されたときに知覚的に消失したターゲット刺激の個数についても報告するように指示された。また、ディスプレイからの観察距離は35cmであった。

図2は、Lou(1999)による偏心度が Troxler 効果に与える影響についての結果を示したもので、固視点からの距離の増大に伴い、ターゲット刺激の消失頻度が上昇し(図2a)、注意を向けたターゲット刺激では、固視点から近い距離においても消失頻度が高くなること示された(図2b)。また、固視点からの距離の増大に伴い、ターゲット刺激の知覚消失潜時は短くなり(図2c)、消失持続時間は長くなった(図2d)。さらに、消失したターゲット刺激数については、固視点から4.4degの範囲では大きな差が見られなかったが、11.3degでは大幅に増加した(図2e)。

1.2 Troxler 効果における注視眼条件の効果

Lou(2008)は、単眼注視条件と両眼注視条件を用いた実験から Troxler 効果における知覚消失潜時は単眼条件(平均=8.4秒)よりも両眼条件(平均=14.2秒)の下でより長いと述べている。図3に、Lou(2008)の Troxler 効果における注視眼条件と知覚消失潜時(Latency)の関係について示す。図3より、両眼注視条件のほうが単眼注視条件より知覚消失潜時が長いことが示された($p < .05$)。単眼注視条件では、左右眼での有意差は認められず、左右眼で知覚消失潜時の長さの違いは見られなかった。これは、Troxler 効果に眼球優位性が統計的に有意な影響を及ぼさないことを示す。消失持続時間(Duration)においては、すべての条件で有意差は認められなかった。さらに Lou(2008)は、Troxler 効果と立体視力の関係性について取り上げ、立体視力の低い被験者は、単眼状態での知覚消失潜時が長いことを示し、Troxler 効果に対する両眼抑制の寄与を示唆している。

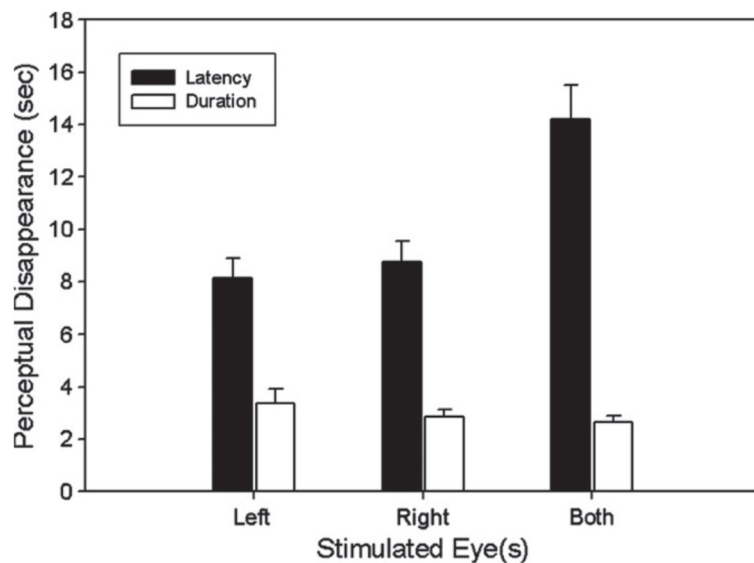


図3 Troxler 効果における単眼注視条件と両眼注視条件における知覚時間 (Lou, 2008)

1.3 Troxler 効果におけるコントラストの効果

Gonzalez, Weinstock,& Steinbach(2007)は、Troxler 効果とコントラストの関係について実験を行った。図4に Gonzalez らが実験で使用した6つの刺激例を示す。各刺激は、中心から10degの偏心度に等間隔に配置された直径3degの6つの円刺激と中心の赤い十字の固視点で構成されたもので、表1に6つの刺激例のコントラストおよび輝度の設定値を示した。明・暗の各極性に対して、3つのコントラ

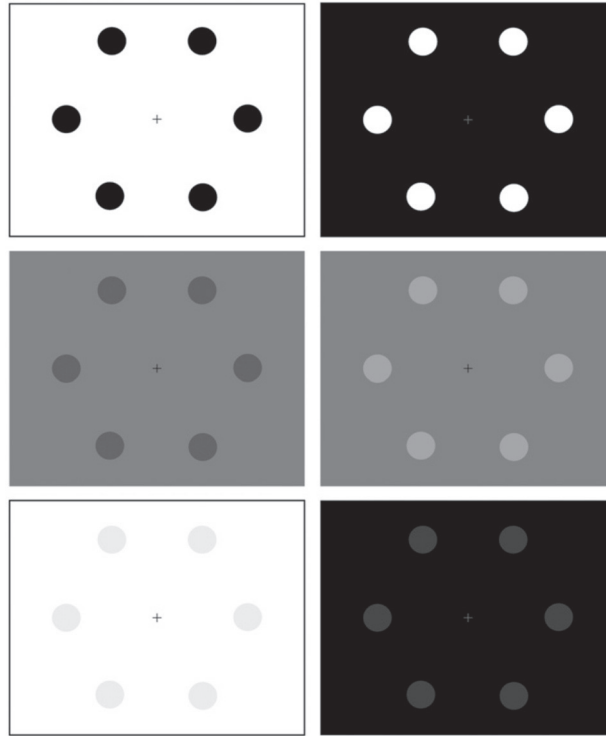


図4 Gonzalez ら(2007)による実験刺激の例

各刺激は、中央の十字固視点(0.2deg)からの角度60degごとに等間隔に配置された直径3degの6個のターゲット刺激で構成された。コントラストは高, 中, 低の3条件で(表1), 極性は、低輝度の背景上に高輝度のターゲット刺激の場合と高輝度の背景上に低輝度のターゲット刺激の場合のいずれかとした。

表1 Gonzalez ら(2007)の実験で使用した刺激例のコントラストおよび輝度の設定値

Stimulus	Maximum brightness (cd/m ²)	Minimum brightness (cd/m ²)	Michelson contrast
Light circles/dark background			
High contrast	186.5	0.3	0.996
Medium contrast	66.5	31.9	0.352
Low contrast	3.4	2.8	0.097
Dark circles/light background			
High contrast	125.5	3.0	0.953
Medium contrast	41.6	19.5	0.362
Low contrast	123.0	93.7	0.135

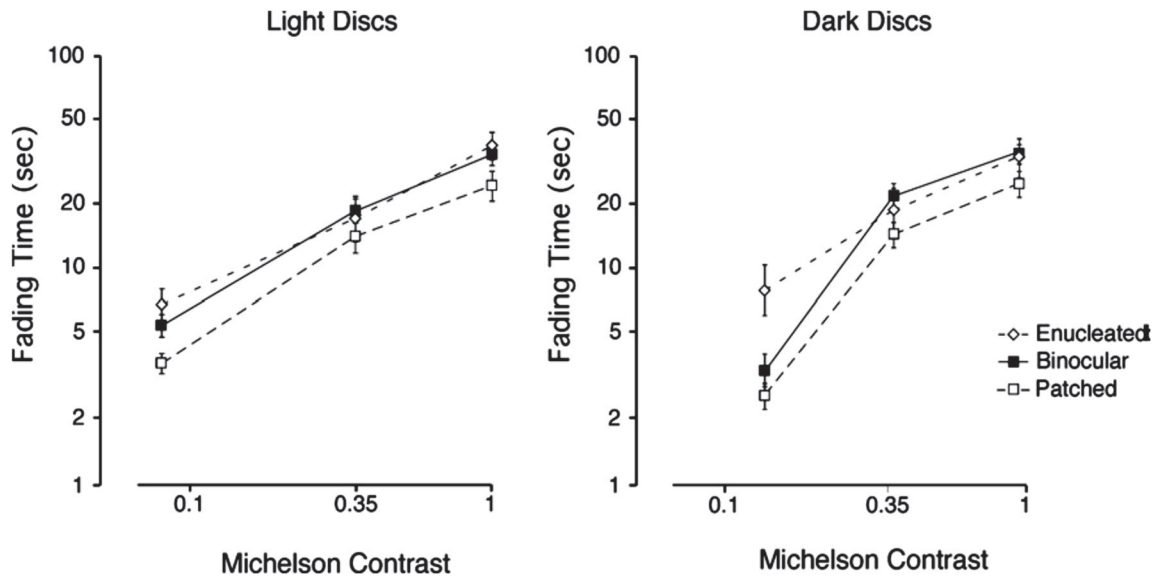


図 5 Gonzalez ら(2007)の実験による呈示条件とコントラスト条件における消失時間
 コントラスト条件, 呈示条件(義眼・両眼・単眼), 極性条件(明・暗)と消失時間の関係

ストレベルが設定された。図 5 に Gonzalez ら(2007)の実験におけるコントラスト条件, 呈示条件, 極性条件と知覚消失潜時の関係を示した。高コントラスト条件, 両眼呈示条件で, 知覚消失潜時が長くなった。コントラスト条件の主効果に有意差が認められ, コントラストの増大に伴い知覚消失潜時が長くなることが示されたが, 極性条件の主効果は認められなかった。すなわち, 暗いターゲット刺激と, 明るいターゲット刺激とは, 同等の知覚消失潜時であったことが示された。

1.4 問題提起

Lou(1999)らの研究により, 偏心度の増大に伴いターゲット刺激の知覚消失潜時が減少することが示され, 固視点からターゲット刺激までの距離の増大に伴い Troxler 効果による消失が生じやすいことがわかったが, ここでの固視点からの距離は固視点と同じ奥行き面である前額平行面上の距離である。Lou(2008)は, Troxler 効果における両眼視の寄与を示唆しているが, 両眼視が関わる固視点からの奥行き距離の効果については未だに明らかにされていないと考えられる。そこで本研究では, ターゲット刺激の両眼視差及びコントラストを操作して固視点からの奥行き距離の違いに基づく知覚消失潜時を測定し, Troxler 効果に及ぼす奥行き距離の効果について検討する。

2. 実験

2.1 目的

Troxler 効果において, ターゲット刺激と背景の間の奥行き距離やコントラストが異なるとき, 知覚消失潜時にどのような差が生じるのか調べることを目的とする。ここでの知覚消失潜時とは, ターゲット刺激が呈示され, 被験者が 6 つのターゲット刺激のうち 1 つでも消えたとき知覚するまでの時間で, ターゲット刺激と背景との視差及びコントラストを変化させて測定した。

2.2 方法

i 被験者

視機能が正常で、立体視力 20 秒以上(Titmus stereo test による)の女子大学生 5 名(21.6 ± 0.5 歳)。

ii 装置・刺激

実験で使用した刺激例を図 6 に示した。刺激の背景は、一辺が 12deg の灰色正方形(輝度 8, 10, 20 cd/m^2 の 3 条件)で中心の黒円(直径 0.25deg)が固視点であった。固視点から偏心度 3.7deg の位置に円環状に直径 0.8deg の 6 つの円形刺激(10, 15, 30 cd/m^2 の 3 条件)を配置し、ターゲット刺激とした。画面の背景輝度は、9.3 cd/m^2 であった。円形ターゲット刺激の視差は、視差なし、交差視差、非交差視差のそれぞれについて 0 秒、 ± 250 秒、 ± 500 秒、 ± 1000 秒、 ± 1500 秒であった。コントラストは、灰色正方形とターゲット刺激のコントラストとし、10%、20%、30%の 3 条件であった。刺激はモニター(EIZO FlexScan SX2462W, 1024pixel \times 768pixel, 横幅 52cm \times 縦幅 32cm)に呈示され、57cm の視距離で観察させた。顎台(竹井機器工業顎台 TKK930a)を視距離の位置で固定し、反射式実体鏡装置(SOKIA MS16)を顎台の前に設置した。図 7 に実験で実際に使用した反射実体鏡装置を示した。

iii 実験条件

固視点は背景と同じ奥行き面で視差はなく(視差 0 秒)、ターゲット刺激にのみ視差条件を設定し、視差なし(0 秒)、交差視差(250 秒、500 秒、1000 秒、1500 秒)、非交差視差(-250 秒、-500 秒、-1000 秒、-1500 秒)の 9 条件を用いた。コントラスト条件は、10%、20%、30%の 3 条件であり、合計 27 条件であった。

iv 手続き

被験者は実験開始前に実験についての説明を受けた上で研究参加の同意を得た。被験者はまず、反

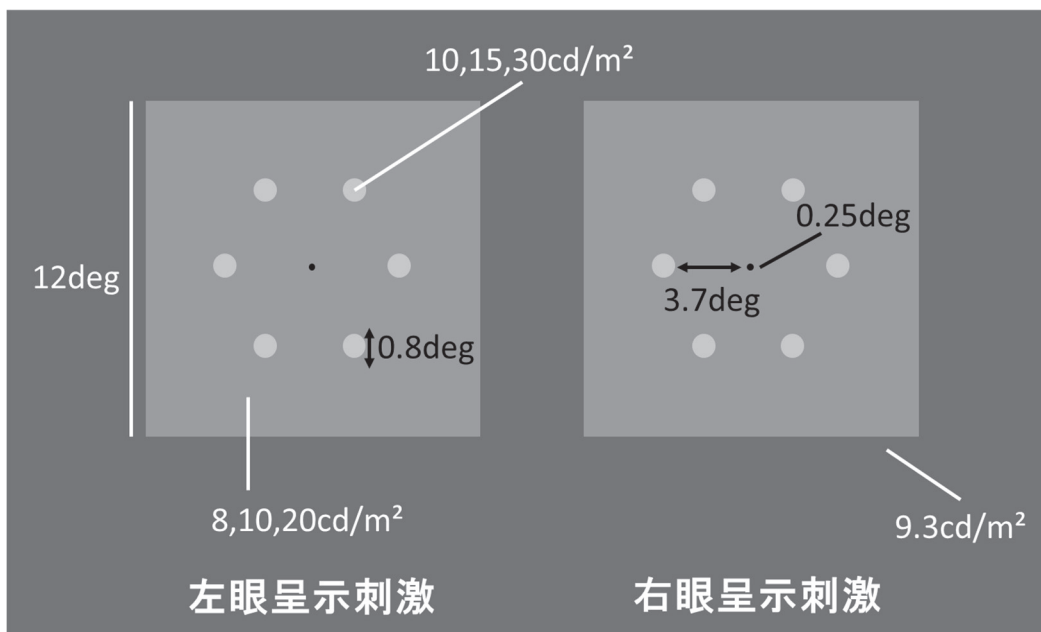


図 6 本研究で使用した刺激呈示の例

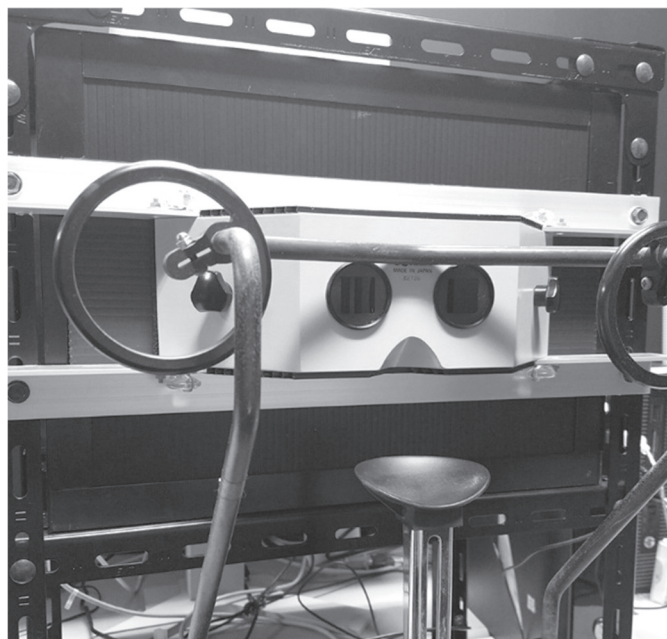


図 7 本実験で使用した反射実体鏡装置(SOKIA MS16)

縦 45cm×横 60cm の暗箱の目線の位置に反射実体鏡装置を取り付けた。反射実体鏡装置の手前に顎台を設置した。被験者によって顎台の高さを調整し、反射実体鏡装置から観察するモニター上の刺激が目線と平行になるように設置した。

射実体鏡装置から刺激を観察し、両眼融像の完了をスペースキーを押すことにより報告することが求められ、両眼融像後に実験が開始された。被験者への課題は、中心の固視点を見て、6個のターゲット刺激のうち1個でも見えなくなったと感じたらスペースキーにより報告するものであった。スペースキーが押されると、10秒間の試行間隔の後、次の試行が開始された。キーが押されないまま60秒間経過した場合はその試行は終了し、その時の知覚消失潜時は60秒とした。また被験者には中心の固視点をしっかり注視してもらい、顎台で顎と前額を固定し、頭位を動かさないことを教示した。実験は視差9条件×コントラスト3条件の27条件をランダム順に呈示して1セットとし、被験者の要望に合わせて休憩を挟みながら5セット繰り返し、被験者1人あたり135試行を行った。

2.3 結果

2.3.1 視差と知覚消失潜時

Troxler 効果における視差およびコントラストの効果について調べるために、ターゲット刺激が呈示されてからターゲット刺激が知覚的に消失する時点までの時間である知覚消失潜時を測定した。図 8 に被験者 5 名と全体における視差と知覚消失潜時の関係を示した。視差とコントラストについて 2 要因分散分析を行ったところ、視差の主効果は、被験者 5 名のうち被験者 NK 以外の 4 名で有意差が認められた ($F(8,108) = 8.592, p < .001$ (被験者 TH), $F(8,108) = 16.322, p < .001$ (被験者 KM), $F(8,108) = 3.855, p < .01$ (被験者 KN), $F(8,108) = 3.289, p < .01$ (被験者 YM))。被験者 NK 以外の被験者および全体では、視差なし条件で最も知覚消失潜時が長く、交差視差においても非交差視差においても視差がない条件に比べて知覚消失潜時が短い傾向が見られた。各視差における多重比較の結果、視差なし

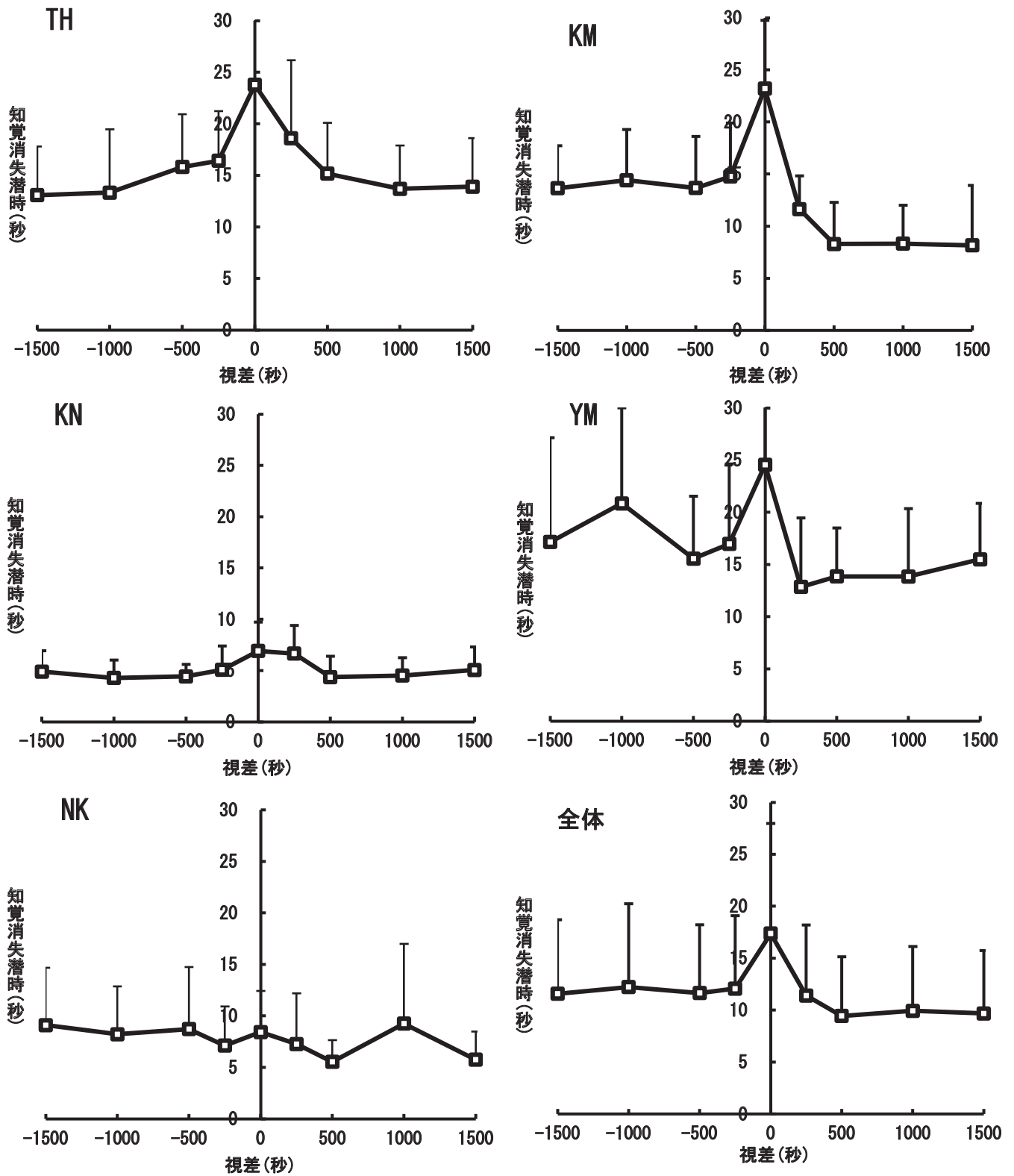


図8 被験者5名と全体における視差条件の知覚消失潜時の関係

条件と視差あり条件間で有意差(すべて $p < .001$)が認められ、ターゲット刺激に視差があるほうが有意に知覚消失潜時が短いことが示された。一方、視差あり条件間では有意差は認められなかった。

2.3.2 固視点からの距離と知覚消失潜時

2次元及び3次元における固視点からの距離と知覚消失潜時の関係を明らかにするために、図8の被験者全体の視差ごとの知覚消失潜時と、Lou(1999)の図2(c)の偏心度ごとの知覚消失潜時について距離(mm)に換算し、図10に示した。本研究で使用した視差(0秒, ±250秒, ±500秒, ±1000秒, ±1500秒)条件による奥行き距離については、固視点と同じ奥行き面であるゼロ視差の前額平行面からの奥行き距離を反射式実体鏡の瞳孔間距離(64mm)および反射式実体鏡からモニターまでの距離(570mm)から算出し、さらに固視点と同じ奥行き面上の距離である偏心度(3.7deg; 37.2mm)と算出した奥行き距離から斜辺にあたる固視点からの直線距離を算出した。一方 Lou(1999)のデータについては、図2(c)における偏心度(0.8deg, 1.0deg, 2.2deg, 4.4deg, 11.3deg)から観察距離を570mmにした場合の固視点からの距離を算出した。

図10より、視差なし(0秒)条件では、Lou(1999)のデータとほぼ同等の知覚消失潜時であることが示されたが、交差視差条件、非交差視差条件ともに最小の視差条件である±250秒ですでに視差0秒と比べて知覚消失潜時が顕著に減少しており、±500秒～±1500秒間では±250秒に比べて知覚消失潜時の長さに大きな違いは見られなかった。さらに、2次元の固視点からの距離である Lou(1999)の結果と、3次元の固視点からの距離に基づく本研究の結果と比べると、2次元の固視点からの距離の場合、距離の増大に伴う知覚消失潜時の変化はゆるやかであるが、3次元の奥行き距離の場合、奥行き距離で6mm程度、固視点からの距離で0.5mm(視差250秒)の増加により急激に知覚消失時間が減少

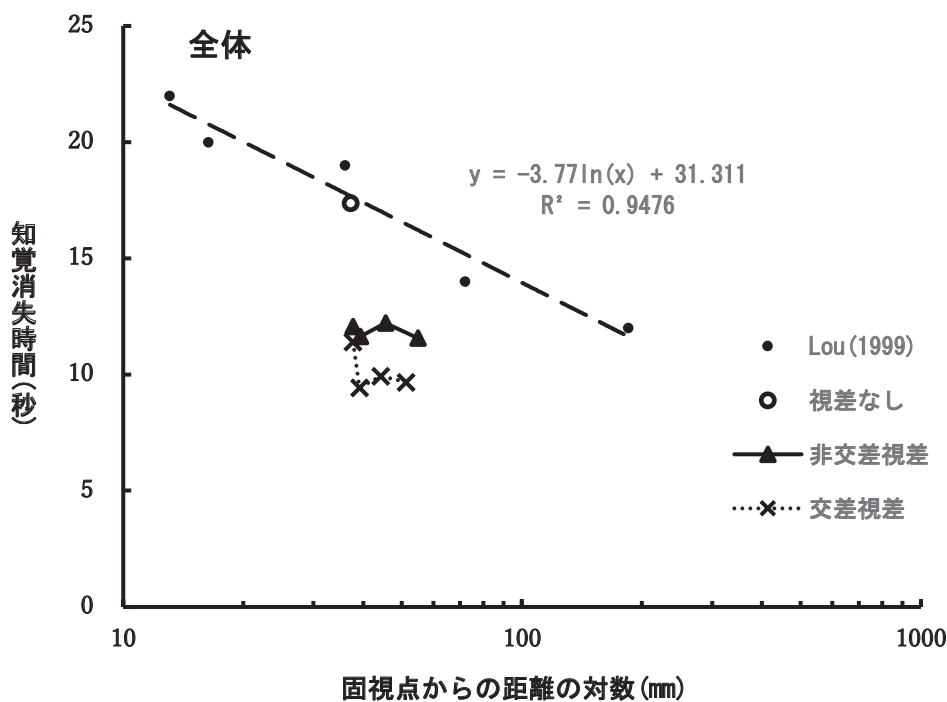


図10 固視点からの距離と知覚消失潜時の関係

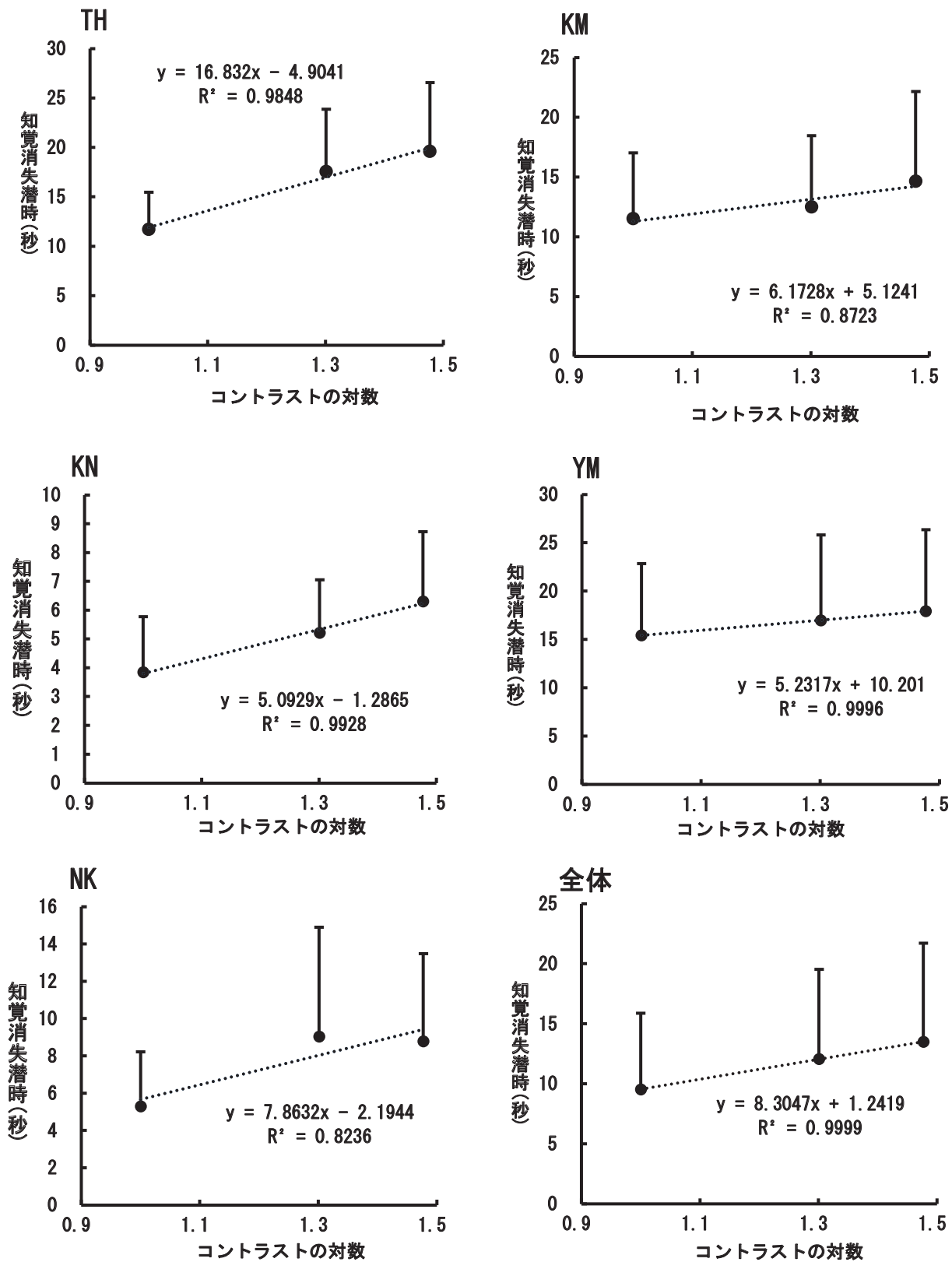


図9 被験者5名と全体におけるコントラストと知覚消失潜時の関係

し、その後は固視点からの距離の増大に伴う知覚消失潜時の減少は認められないことが示された。また、図 10 から交差視差条件と非交差視差条件では知覚消失潜時に約 2 秒の差が見られ、交差視差条件のほうが非交差視差条件よりも知覚消失潜時が短い傾向が示された。

2.3.3 コントラストと知覚消失潜時

コントラストの主効果については、被験者 5 名のうち、被験者 YM 以外の 4 名で有意差が認められた($F(8,108) = 37.737, p < .001$ (被験者 TH), $F(8,108) = 5.557, p < .01$ (被験者 KM), $F(8,108) = 18.091, p < .001$ (被験者 KN), $F(8,108) = 8.793, p < .001$ (被験者 NK))。図 9 に被験者 5 名と全体におけるコントラストの対数と知覚消失潜時の関係について示した。図 9 より、コントラスト 10%(=1)のとき知覚消失潜時が最も短く、コントラストが高くなるにつれて知覚消失潜時が長くなる傾向を示した。回帰分析の結果、被験者全体では回帰直線の決定係数が $R^2 = 0.9999$ となり、 $y = 8.3047x + 1.2419$ (x : コントラストの対数, y : 知覚消失潜時)の回帰直線によってコントラストと知覚消失潜時の関係が説明できることが示され、コントラストと知覚消失潜時に強い線形の関係があることがわかった。

被験者 YM 以外の 4 名の被験者についてコントラスト条件について多重比較を行った結果、4 名すべてで、10%と 30%のコントラスト条件で有意差が認められ、10%が 30%に比べて有意に知覚消失潜時が短いことが示された。また、被験者 TH, KN では、すべての条件で有意差が認められ、コントラストが低下すると、知覚消失潜時が有意に短くなるということが示された。被験者全体ではコントラスト 10%と 20%、10%と 30%間で有意差が認められ、10%が 20%及び 30%に比べて知覚消失潜時が短いことが示された。

2.4 考察

視差とコントラストが Troxler 効果における知覚消失潜時に及ぼす影響について検討した結果、視差については、固視点とターゲット刺激の視差が 0 秒すなわち視差がないときの知覚消失潜時が最も長いことがわかり、視差がある場合に有意に知覚消失潜時が減少することが示された。Lou(1999)によれば、ターゲット刺激の固視点からの距離の増大に伴いターゲット刺激の知覚消失潜時が減少するため、奥行き距離についても視差の増大に伴い知覚消失潜時が減少すると考えられたが、実験の結果は視差なし条件に比べて視差あり条件は交差視差条件・非交差視差条件ともに知覚消失潜時は短いことが認められたが、視差の増大に伴う減少傾向は明らかではなかった。視差と偏心度(Lou, 1999)を距離(mm; 観察距離を 570mm にした場合)に換算して比較した結果から、固視点と同じ奥行き面の場合、13.1mm から 185.0mm まで固視点からの距離の対数に比例して知覚消失潜時が直線的に減少するのに対し、固視点と奥行きが異なる場合は、固視点からの距離 37.2mm(視差 0 秒)から 37.7mm(視差 250 秒)の 0.5mm の変化により交差視差で約 6 秒、非交差視差で約 5 秒知覚消失潜時が減少し、37.7mm から 51mm(視差 1500 秒; 交差視差)または 55mm(視差 1500 秒; 非交差視差)まで知覚消失潜時はほとんど変化しないことが示された。このことは、固視点と同じ奥行きの前額平行面上における距離(偏心度)と固視点からの奥行き距離が異なる場合では、Troxler 効果における影響が異なることを示唆する。

奥行き距離の効果については、6mm 程度の奥行き、固視点からの距離にすると 0.5mm(視差 250 秒)の距離の違いにより視差なし条件に比べて知覚消失潜時が有意に短くなった。視差の増大に伴う知覚消失潜時の減少傾向は明らかではなかったが、被験者 TH, KM, KN, NK においては 250 秒の視差条件より 500 秒の視差条件の知覚消失潜時が短い結果が示された。本研究において用いた最小の

視差条件は±250秒であったが、より小さい視差条件を用いることにより、視差の増大による知覚消失潜時の減少の可能性や、Troxler効果に影響を与える最小の視差条件についてより詳細な検討が可能になると考えられる。

また、交差視差・非交差視差ともにターゲット刺激の知覚消失潜時を減少させる効果が認められ、固視点と異なる奥行き面にあるターゲット刺激は、手前でも奥でも消失しやすいことが示された。交差視差と非交差視差の間には統計的に有意な差は認められなかったが、交差視差のほうが非交差視差よりも平均して約2秒知覚消失潜時が短い傾向が見られ、ターゲット刺激が固視点の手前にある場合、奥にある場合より消えやすいことが示唆された。しかし、この結果は、被験者によっても異なるため今後の検討が必要であると考えられる。

コントラスト条件については、コントラストの減少に伴い知覚消失潜時が減少することが示され、Gonzalezら(2007)を支持する結果であった。コントラストと知覚消失潜時の関係について回帰分析を行った結果、線形の関係が認められ、コントラストの対数に比例して知覚消失潜時が長くなることが示された。

引用文献

- Clarke, F. J. J. (1960). A study of Troxler's effect. *Optica Acta*, **7**, 219-236.
- Clarke, F. J. J. (1961). Visual recovery following local adaptation of the peripheral retina. *Optica Acta*, **8**, 121-135.
- Clarke, F. J. J. & Belcher, S. J. (1962). On the localization of Troxler's effect in the visual pathway. *Vision Research*, **2**, 53-68.
- 深田芳郎(1969). 視覚系の構造 和田陽平・大山 正・今井省吾(編) 感覚・知覚心理学ハンドブック 誠信書房 pp.190-205.
- Gibson, J. J.(1950). The perception of the visual world. The Riverside Press, U.S.A: Cambridge, Massachusetts. (ジェームズ J ギブソン. 東山篤規(訳) (2011). 視覚ワールドの知覚 新曜社)
- Gonzalez, E. G., Weinstock, M., & Steinbach, M. J. (2007). Peripheral fading with monocular and binocular viewing. *Vision Research*, **47**, 136-144.
- 北岡明佳(2008). 人はなぜ錯視にだまされるのか? カンゼン
- Lou, L. (1999). Selective peripheral fading: evidence for inhibitory sensory effect of attention. *Perception*, **28**, 519-526.
- Lou, L. (2008). Troxler effect with dichoptic stimulus presentations: Evidence for binocular inhibitory summation and interocular suppression. *Vision Research*, **48**, 1514-1521.
- Moleland, J. D. (1972). Peripheral color vision. In D. Jameson & L.M. Hurvich(Eds.) , *Handbook of sensory physiology*. Vol.VII/4(pp.517-536). Berlin, Heidelberg, New York: *Springer-Verlag*.
- Poggio, G. F. & Fischer, B. (1977). Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology*, **40**, 1392-1405.
- Spring, K. H. & Stiles, W. S. (1948). Apparent shape and size of the pupil viewed obliquely. *British Journal of Ophthalmology*, **32**, 347-454.
- Troxler, D., Himly, K. & Schmidt, J.A. (1804). On the disappearance of given objects from our visual field. *Ophthalmologische Bibliothek*. **2** (2), 1-53.