

## 特集「色彩視の発達」

## 乳児における色知覚の発達

## The development of color perception in infant

楊 嘉楽 Jiale Yang

中央大学大学院文学研究科

Graduate School of Letters, Chuo University

山口 真美 Masami K. Yamaguchi

中央大学

Chuo University

科学技術振興機構さきがけ

PRESTO Japan Science &amp; Technology Agency

## 1. はじめに

ヒトの色知覚の発達は知覚発達研究の中でも、重要なテーマの1つである。乳児の色知覚に関する研究が進むにつれ、乳児の視覚系は未発達といえども、色知覚の発達は意外に早いことが知られてきた。乳児がいつごろから、色をどのくらい区別できるようになるのかについて、ある程度解明されてきている。色知覚が成人並みに発達するのは児童期以降であるが、幼児期の比較的早い段階から成人と似た色知覚が機能し始めることが明らかにされた。本稿では乳児の視覚系の発達から紹介し、明るさ弁別と色弁別の発達、色の対比と同化、そして色恒常性の獲得について解説する。

## 2. 乳児期における視覚系の発達

新生児の網膜においても錐体の存在が確認されている (Abramov et al., 1982) が、中心窩付近の錐体の形態と長さは成人と異なり、錐体の密度も成人よりも低い (Yuodelis & Hendrickson, 1986) ことがわかっている。また、光子を吸収する能力も成人と比べてはるかに低い (Banks & Bennett, 1988; Banks & Shannon, 1993)。この錐体の未熟は、新生児の色知覚が成人に比べて弱いことの原因の1つと考えられる。

網膜の視細胞が光エネルギーを電気信号に変換し、その信号が外側膝状体に伝達される。新生児の外側膝状体は視細胞と同様に未熟であるが、6ヶ月になると、ほぼ成人と同じサイズに発達する (Garey, 1984; de Courten & Garey, 1982; Hickey, 1977)。さらに新生児の外側膝状体においても、層構造が確認されて

いる。これは、輝度情報を伝達するM細胞 (大細胞) と色情報を伝達するP細胞 (小細胞) がヒトの視覚が始まったばかりの乳児の段階で、すでに分化していることを意味している。

外側膝状体の細胞の軸索は脳皮質に到達し、V1 (第一次視覚野) の細胞のシナプスと結合する。解剖学の研究から、網膜や外側膝状体と同様に、乳児の皮質回路も未熟であることが示されている (Conel, 1939)。乳児のV1と視床において生後からシナプスの数が急増するが、その後数は減り、1歳ぐらいで成人のレベルに落ちる (Garey, 1984) ことが知られている。ポジトロン断層法 (positron emission tomography, PET) を用いた研究では (Chugani & Phelps, 1986)、乳児が生まれてから1才の間に、視床とV1の活動の差が著しいことが分かっている。視床と比べると新生児の視覚野の活動は低く、1才までに徐々に活性化することが明らかにされている。色情報の処理と関連するV4 (第四次視覚野) の発達は検討されていないが、Chugani & Phelps (1986) の結果から考えると、生まれてまもないV4は未熟で、生後一年の間に次第に発達すると考えられる。

## 3. 色知覚の発達

色知覚を研究する際に注意しなければならないことがある。それは実験刺激に混入した輝度アーティファクトを除外することである。人によって異なる色相の等輝度光に対し、異なる輝度の知覚が生じる可能性がある。したがって、被験者ごとに波長の異なる2つの光の等輝度点を測定する必要がある。こうした手続き

を経ない限り、被験者が刺激を弁別したとしても、色情報に基づいて弁別したか、あるいは輝度情報に基づいて弁別したのかが不明となり、色を弁別できたと主張できない。

乳児を対象とする色知覚実験では、最小運動法 (minimum motion method) (Maurer, Lewis, Cavanagh, & Anstis, 1989; Teller & Lindsey, 1989) で、刺激の輝度をコントロールする。最小運動法では、2色で構成される色度矩形波縞と輝度矩形波縞を交互に高速で1/4周期ずつ移行させながら繰り返し提示する(図1参照)。色度矩形波縞の中の1色の輝度のみを変化させ、等輝度点を測定する。2色の縞に輝度差がある場合、抽出された輝度情報によって色度矩形波縞と輝度矩形波縞の輝度の高い縞がリンクし、刺激パターンに一定方向の仮現運動が知覚される。色度矩形波縞の輝度比が逆転すると、知覚される運動方向も逆転する。これに対して2色の縞が等輝度の場合、色縞と輝度縞に結合はなくなり、仮現運動は知覚されない。乳児を対象にした場合、知覚された仮現運動により視運動性眼振 (OKN) と呼ばれる眼球運動が生じる。OKNは目視で観察可能であり、観察されたOKNから色縞を構成した2つの色の等輝度点を推定することができる。しかし最小運動法は、精神物理学測定法を用いて被験者の等輝度点を測る方法であるために、試行数も膨大で、乳児の負担も大きく、実験データを蓄積するための所要時間も長くなる。

乳児の負担を考慮し、実験データの蓄積を短縮するため、成人実験で測定された等輝度点の平均値を乳児の近似値として用い、刺激の輝度をコントロー

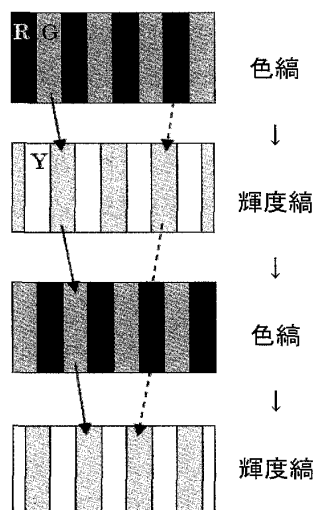


図1 最小運動法の実験の概要：赤緑の2色の色度矩形波縞と黄の輝度矩形波縞を交互に提示する

ルすることもある。いくつかの研究 (Maurer et al., 1989; Teller & Lindsey, 1989; Brown, Lindsey, McSweeney, & Walters, 1995; Chien, Teller, & Palmer, 2000; Pereverzeva, Chien, Palmer, & Teller, 2002) では、乳児の等輝度の平均値と分散が成人の値と類似していることが示されている。成人の等輝度の平均値を乳児の近似値として使用する場合は、乳児ごとの輝度アーティファクトを完全に除外することはできないが、被験者数を増やすことによって輝度アーティファクトによる影響を最小限に収めることができる。

### 3.1. 比視感度

比視感度とは、光を感じるために必要な各波長の放射量の逆数であり、視覚系の分光感度である。行動実験 (Maurer et al., 1989; Teller & Lindsey, 1989; Brown et al., 1995) と視覚誘発電位 (visual evoked potentials, VEP) 実験 (Bieber, Volbrecht, Werner, 1995) では、乳児の比視感度は早い段階から発達することがわかっている。1-3ヶ月児が成人と同じ形の比視感度関数をもっていることも示されている。しかし、ウェーバー比 (相対弁別閾) が成人よりも大きいという特徴がある。これは、2つの色領域の輝度差が小さいとき、乳児が輝度の差分を弁別するのは難しいことを意味している。最近の研究で、1ヶ月児は、成人に近い分光感度をもつ L、M、S 錐体がすでに発達していることもわかっている (Knoblauch, Bieber & Wener, 1998; Bieber, Knoblauch & Wener, 1998)。

### 3.2. 色弁別

刺激を厳密にコントロールした場合、新生児と1ヶ月児の色弁別能力は弱い、もしくは全くないということが行動実験 (Hamer et al., 1982; Packer et al., 1984; Varner et al., 1985) と VEP 実験 (Morrone et al., 1990; Morrone et al., 1993) の結果から得られている。

Banks & Shannon (1993) は、生後3ヶ月ごろに三色型の色知覚になると主張している。ただしこれは、3ヶ月児の色知覚は成人と同じ三色型をもち、すべてが成人と同様のレベルまで発達したことを主張するのではない。なぜならば、乳児の色弁別の実験で、刺激のサイズが小さければ小さいほど乳児の色弁別の能力が落ちることが示されている (Adams et al., 1990;

Hamer et al., 1982)。この結果から、一定の色光に関しては大きな領域からの信号が加重されない限り、乳児は色弁別閾に達しないことが示唆される。この事実から乳児の色知覚システムの出力は成人より弱いとも考えられる。また、乳児における色弁別実験はほとんど大視野で行われており、しかも低い輝度の刺激を用いていることから、桿体が色弁別に働いている可能性も残される。

これに対し、3ヶ月以下の乳児は三色型の色弁別テストがうまくできないが、赤/緑チャンネルに基づく色弁別(二色型の色弁別)はできることが示されている(Banks & Shannon, 1993; Brown, 1990; Teller & Lindsey, 1993)。Peeplesら(1975)が実施した強制選択選好注視法(FPL technique)を用いた実験から、2ヶ月児が白背景の中にある赤の刺激を選好することがわかった。こうした弁別をもたらすためには、少なくとも2つのタイプの光受容体が機能することが必要である。他の研究では、2ヶ月児が赤・オレンジ・緑・紫を白から弁別できたが、青・黄は弁別できなかったことが示されている(Peeples & Teller, 1975; Hamer et al., 1982; Clavadetscher et al., 1988; Allen et al., 1993)。すなわち、2ヶ月児は赤-緑チャンネルに基づく色弁別はできるが、青-黄チャンネルに基づく色弁別は発達していないことを意味している。最近の研究(Suttle et al., 2002)から、3-4ヶ月にならないと青-黄チャンネルに基づく色弁別は機能しないことが明らかになっている。これらの研究から、赤-緑チャンネルと青-黄チャンネルにおける発達の違いが示唆される。

### 3.3. 時空間コントラスト感度の発達

2ヶ月児の等色度刺激の輝度空間コントラスト感度関数(contrast sensitivity function, CSF)は、すでに成人のものと同様な帯域透過型になり、感度とピークの位置のみ異なっている(Peterzell et al., 1995; Kelly et al., 1997)。輝度の空間コントラスト感度における発達過程をみると、生後6ヶ月までに、感度関数の形は徐々に高周波数方向にシフトしつつ、感度があがる(Pirchio et al., 1978)。生後6ヶ月ごろには、成人と同じ4-5c/degに達することが明らかにされた。

等輝度刺激の色空間コントラスト感度の発達は、輝度の空間コントラスト感度の発達と類似している。2ヶ月児も成人と同じ低域透過型の色空間コントラスト

をもっており(Kelly et al., 1997)、2ヶ月以降は感度の上昇のみとなる。

成人は、帯域透過型の輝度時間コントラスト感度と低域透過型の色時間コントラスト感度をもっていることが知られている(Kelly & Norren, 1977)。乳児は、輝度時間コントラスト感度については成人と同じような帯域透過型の感度をもっている。しかし、色時間コントラスト感度については、等輝度の位相反転する赤-緑縞刺激を用いた選好注視法による研究から、3ヶ月児は成人と異なり、帯域透過型であることがわかった(Hartmann & Banks 1992; Dobkins & Teller, 1996; Dobkins et al., 1997)。このことから、3ヶ月児における色の時間変調の処理は、成人で色弁別に用いられるP細胞系経路ではなく、むしろM細胞系経路によって処理され、発達とともに処理がP細胞系経路に移行することを示唆している。

### 4. 乳児における色誘導

色は、周囲にある誘導領域の色によって異なる色に知覚される。これは色誘導と呼ばれる。色誘導には、対比と同化がある。対比は誘導領域の色との差異が強調されて知覚されるのに対し、誘導領域との差異が減少して知覚されるのが同化である。

Chienら(Chien et al., 2003)は、4ヶ月児を対象に明るさ同時対比を調べた。実験では、乳児はまず白い背景の上に灰色の円を繰り返し学習され、学習成立後に学習時と同じ輝度の円と輝度の低い円を、2つの円より低い輝度に設定した背景の上で対提示した。背景の輝度がテスト円より低いため、円は実際よりも明るくみえる。よって、学習時と同じ輝度の円は、学習時より明るく知覚され、逆に学習時より低い輝度の円は、学習時の円と同じくらい明るいと感じられる。もし乳児が成人と同じように、明るさ対比を知覚することができるのであれば、学習後のテストでは、学習時より低い輝度をもつ円を学習したものと認識すると予測された。4ヶ月児は予測どおりの結果となり、成人と同様に明るさ対比を知覚することがわかっている。

Pereverzevaら(Pereverzeva & Teller, 2009)も同じ4ヶ月児を対象に、色同時対比を検討した。彼らは2種類のダイナミック色同時対比(dynamic simultaneous color contrast)パターンを用意し、乳児の色同時対比を調べた。ダイナミック色同時対比とは、誘導領域の色度が時間的に変調するときに、誘導される領域の色度が固定されているものの、位相反

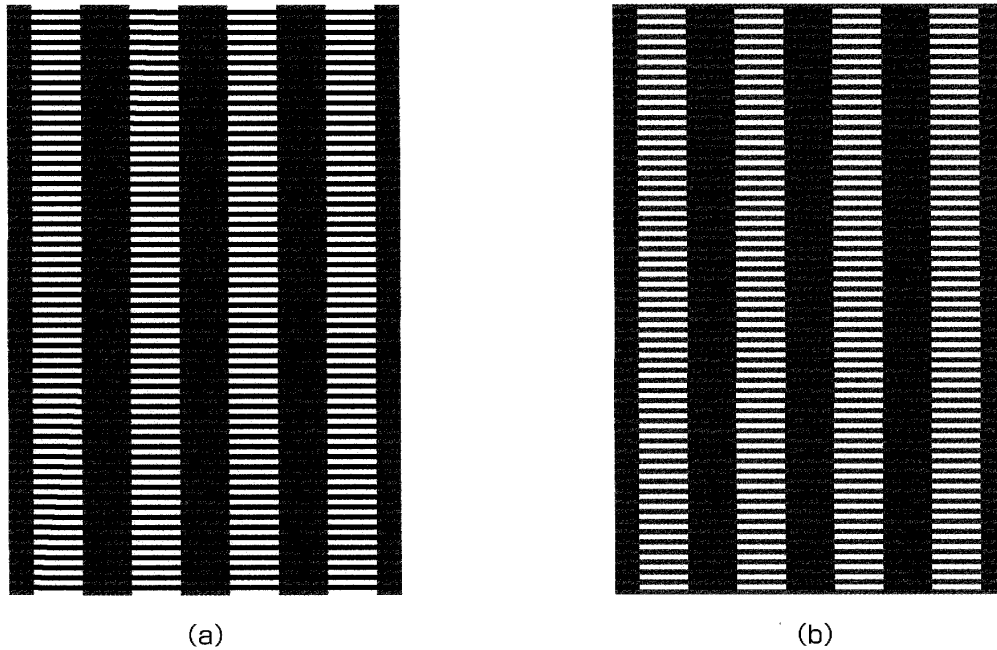


図2 ムンカー錯視：(a)と(b)の黄色は物理的に同じにもかかわらず、錯視によって鮮やかさが違って見える

転の色変調が知覚される錯視現象である。例えば、誘導領域の色度が赤-緑に変調する場合、白いテスト領域には薄い緑-赤の変調を知覚する錯視が起こる。さらに、テスト領域に実際に適切な緑-赤の色度変調を加えると、均一な白が知覚される。彼らの実験では、このような2種類のダイナミック色同時対比パターンを乳児に対提示した。乳児は変化がないパターンと変化があるパターンを同時に提示されると、変化のある方に注視する。もし乳児が成人と同じように、色対比を知覚できるのであれば、物理的には均一な白い領域だが、知覚的に色変調のある方を長く注視すると予測される。実験の結果、4ヶ月児は成人と同じように、ダイナミック色同時対比を知覚することがわかった。

ムンカー錯視(図2)は、色の見え方が色対比よりも劇的に変化する錯視現象である。図2の(a)(b)の刺激では、黄色の線分は物理的に同じに設定しているが、図2(a)の黄色は赤い線分に挟まれているため、色の彩度が高くより鮮やかな黄色に見える。これに対し、図2(b)の黄色はピンクの線分に挟まれているため、色の彩度が低くより薄い黄色に見える。この原因には、いくつかの説明がある。その一つに、「同化」がある。つまり、図2(a)の黄色は挟まれている赤色に、黄色の見かけの彩度が引きずられていると考えるのである。

Yangら(submitted)は、4~8ヶ月の乳児を対象にムンカー錯視の知覚の成立を検討した。乳児は、同

じ色相の色に対し、彩度が低い刺激よりも、彩度が高い刺激を長く注視することが知られている(e.g., Zemach, Chang, & Teller, 2007; Zemach and Teller, 2007)。そこでYangらは、彩度の高い色刺激に注目する性質を利用し、選好注視法を用いた実験を行った。実験では乳児に図1の(a)と(b)を対提示した。もし乳児がムンカー錯視を知覚できるのであれば、(a)で主観的に彩度が高い黄色が見えるため、より長く注視すると予測される。一方、乳児がムンカー錯視を知覚できないのであれば、2つの刺激の注視率に差が見られないことが予測される。注視率を分析した結果、4~8ヶ月の乳児は、主観的な黄色の彩度がより高く見えるムンカー錯視パターン(a)を有意に長く注視した。この結果は、4~8ヶ月の乳児がムンカー錯視を知覚できることを示唆するものと考えられる。

## 5. 色恒常性の発達

ヒトの色知覚は色対比と同化で示したように、周囲の影響を受ける。さらに生態学的な環境下で考えると、照明光変化の効果があろう。目に入る光は、モノの表面の反射特性と照明光の分光分布(光の波長ごとのエネルギー分布)によって決定されるため、照明光が変化すると、目に入る光の分光分布も変化する。しかしながら、ヒトは照明光の変化によらず、同じ物体を一定の色として見ることが出来る。これは、照明の情報

を利用し、目に入射した光の分光分布の変化を取り除き、観察条件によらず物体の色を常に一定に見る高次な能力が備わっているからである。この現象は色恒常性とよばれる。

乳児の色恒常性に関する研究では、2種類の照明条件下でターゲット色票を提示し、色恒常性の規則に基づくターゲットの弁別を調べている(Dannemiller & Hanko, 1987; Dannemiller, 1989)。Dannemiller & Hanko(1987)は人工照明(電球と蛍光灯)を使用し、4ヶ月の乳児を対象に色恒常性の実験を行った。まず、乳児に白い背景の上の青あるいは紫のターゲット色票を繰り返し見せて学習させる。学習成立後に、テストに入る。テストでは照明を変えて、ターゲット色票と新規色票を乳児に対提示し、弁別できるかを調べた。学習の照明とターゲット色票との組み合わせは、蛍光灯・電球vs.青・紫の4条件であった。乳児はこの4条件の中で、蛍光灯照明下の青ターゲットと電球照明下の紫ターゲットの条件のみ、学習した色票と新規色票を弁別できた。一方で、蛍光灯照明下の紫ターゲットと電球照明下の青ターゲットの条件では、乳児は弁別に失敗した。その理由は、この2つの条件では、学習されたターゲット色票のテストでの照明下の色度は、新規色票の色度と比べ、学習時のターゲット色票の色度に近いために区別しにくいことがあげられる。すなわち、乳児は色差の違いに基づいて判別を行っていたとも考えられる。そして、弁別ができた他の2つの条件でも、色恒常性の規則に基づくターゲットの弁別ではなく、色差の違いによって弁別していた可能性が残されている。

Dannemiller(1989)はヒトの視覚システムが太陽光の下に進化したことから、太陽光下での乳児の色恒常性能力が人工照明より優れていると推測し、モニタ上に太陽光の変化をシミュレーションして2ヶ月児と5ヶ月児の色恒常性を検討した。実験のパラダイムはDannemiller & Hanko(1987)と同様である。実験の結果5ヶ月児のみどの条件でも、色恒常性の規則に基づいてターゲット弁別できたことから、5ヶ月の乳児は基本的な色恒常性を獲得していると考えられる。

色の恒常性が成立するための主なメカニズムとして、視覚の順応と同時対比が挙げられている。明るさの順応が乳児の早い段階で(3ヶ月あるいはもっと早く)、すでに発達していることがわかっている(Dannemiller, 1985; Dannemiller & Banks,

1983)。さらに、色の順応が3ヶ月児の色弁別感度を影響すると示した研究もいくつかある(Brown & Teller, 1989; Pulos et al., 1980)。さらに、4ヶ月の乳児も色の同時対比が機能していることが明らかにされている(Pereverzeva & Teller, 2009)。これらの研究から示された色順応と色対比の発達時期は、Dannemiller(1989)が発見した乳児における色恒常性の獲得時期と一致している。

## 6. まとめ

本稿では乳児の色知覚の発達について解説した。一連の研究で、1ヶ月児はある程度の色弁別能力をもち、4ヶ月児で色誘導が生起することが明らかになっている。そして、5ヶ月児になると照明光が変化しても物体から安定した色を知覚することができるようになる。これらの結果から、発達早期の乳児はすでに成人と似た色知覚をもっていると示唆される。しかし、乳児の色知覚の感度は成人のレベルにまだ達していない。たとえば、乳児は大きな領域の色弁別しかできない結果もある。これらのことから、ある種の「質的」な色知覚が生後4-5ヶ月までに完成し、後に「量的」な発達に移行すると考えられる。

## 参考文献

- Abramov, I., Gordon, J., Hendrickson, A., Hainline, L., Dobson, V., & LaBossiere, E. (1982). The retina of the newborn human infant. *Science*, 217, 265-267.
- Adams, R.J., Maurer, D., & Cashin, H.A. (1990). The influence of stimulus size on newborns' discrimination of chromatic from achromatic stimuli. *Vision Research*, 30, 2023-2030.
- Allen, D., Banks, M.S., & Norcia, A.M. (1993). Does chromatic sensitivity develop more slowly than luminance sensitivity? *Vision Research*, 33, 2553-2562.
- Banks, M.S., & Shannon, E. (1993). Spatial and chromatic visual efficiency in human neonates. In K. Simons (Ed.), *Infant Vision: Basic and Clinical Research*. National Academy of Sciences Press.
- Banks, M.S., & Bennett, P.J. (1988). Optical and photoreceptor immaturities limit

the spatial and chromatic vision of human neonates. *Journal of Optical Society of America A*, 5, 2059-2079.

Bieber, M.L., Volbrecht, V., & Werner, J.S. (1995). Spectral efficiency measured by heterochromatic flicker photometry is similar in human infants and adults. *Vision Research*, 35, 1385-92.

Bieber, M.L., Knoblauch, K., & Werner, J.S. (1998) M- and L- cones in early infancy: II. Action spectra at 8 weeks of age. *Vision Research* 38, 1765-73.

Brown, A.M., Teller, D.Y., (1989). Chromatic opponency in 3-month-old human infants. *Vision Research*, 29, 37-45.

Brown, A.M. (1990). Development of visual sensitivity to light and color vision in human infants: A critical review. *Vision Research*, 30, 1159-1188.

Brown, A.M., Lindsey, D., McSweeney, E., & Walters, M. (1995). Infant luminance and chromatic contrast sensitivity: OKN data on 3-month-olds. *Vision Research*, 35, 3145-60.

Chien, H., Teller, D., & Palmer, J. (2000). The transition from scotopic to photopic vision in human infants and adults: Rejection of the "rod dominance" hypothesis. *Vision Research*, 40, 3853-71.

Chien, S. H. L., Palmer, J., & Teller, D. Y. (2003). Infant lightness perception: Do 4-month olds follow Wallach's ratio rule? *Psychological Science*, 14 (4), 291-295.

Chugani, H.T., & Phelps, M.E. (1986). Maturational changes in cerebral function in infants determined by 18FDG positron emission tomography. *Science*, 231, 840-843.

Clavadetscher, J.E., Brown, A.M., Ankrum, C., & Teller, D.Y. (1988). Spectral sensitivity and chromatic discriminations in 3- and 7-week-old human infants. *Journal of the Optical Society of America A: Optics, Image Science, and Vision*, 5, 2093-2105.

Conel, J.L. (1939). *The cortex of the*

*newborn. The postnatal development of the human cerebral cortex.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Dannemiller, J.L. (1985). The early phase of dark adaptation in human infants. *Vision Research*, 25, 207-212.

Dannemiller, J.L., & Banks, M.S. (1983). The development of light adaptation in human infants. *Vision Research*, 23, 599-609.

Dannemiller, J.L., & Hanks, S.A., (1987). A test of color constancy in 4-month-old human infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 44, 255-267.

Dannemiller, J.L. (1989). A Test of Color Constancy in 9- and 20-Week-Old Human Infants Following Simulated Illuminant Changes. *Developmental Psychology*, 25, 171-184.

de Courten, C., & Garey, L.J. (1982). Morphology of the neurons in the human lateral geniculate nucleus and their normal development. *Experimental Brain Research*, 47, 159-171.

Dobkins, K.R., & Teller, D.Y. (1996). Infant contrast detectors are selective for direction of motion. *Vision Research*, 36, 281-94.

Dobkins, K.R., Lia, B., & Teller, D.Y. (1997). Infant color vision: temporal contrast sensitivity functions for chromatic (red:green) stimuli in 3-month-olds. *Vision Research*, 37, 1-18.

Garey, L. (1984). Structural development of the visual system of man. *Human neurobiology*, 3, 75-80.

Hamer, R.D., Alexander, K.R., & Teller, D.Y. (1982). Rayleigh discriminations in young human infants. *Vision Research*, 22, 575-577.

Hartmann, E.E., & Banks, M.S. (1992). Temporal contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 32, 1163-8.

Hickey, T.L., (1977). Postnatal development of the human lateral geniculate nucleus: relationship to a critical period for the visual system. *Science*, 198, 836-838.

- Kelly, D.H. & van Norren, D. (1977). Two-band model of hetero-chromatic flicker. *Journal of the Optical Society of America A*, 67, 1081-91.
- Kelly, J.P., Borchert, K., & Teller, D.Y. (1997). The development of chromatic and achromatic contrast sensitivity in infancy as tested with the sweep VEP. *Vision Research*, 37, 2057-72.
- Knoblauch, K., Bieber M.L., & Werner, J.S. (1998). M-and L-cones in early infancy: I. VEP responses to receptor-isolating stimuli at 4-and 8-weeks of age. *Vision Research* 38, 1753-1764.
- Maurer, D., Lewis, T.L., Cavanagh, P., & Anstis, S. (1989). A new test of luminous efficiency for babies. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 30, 297-303.
- Morrone, M.C., Burr, D.C., & Fiorentini, A. (1990). Development of Contrast Sensitivity and Acuity of the Infant Colour System. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 242, 134-139.
- Morrone, M.C., Burr, D.C., Fiorentini, A. (1993). Development of infant contrast sensitivity to chromatic stimuli. *Vision Research*, 33, 2535-2552.
- Packer, O., Hartmann, E.E., & Teller, D.Y. (1984). Infant color vision: the effect of test field size on Rayleigh discriminations. *Vision Research*, 24, 1247-1260.
- Peeles, D.R., & Teller, D.Y. (1975). Color vision and brightness discrimination in two-month-old human infants. *Science*, 189, 1102-1103.
- Pereverzeva, M., Chien, H., Palmer, J., & Teller, D. (2000). Infant photometry: are mean adult isoluminance values a sufficient approximation to individual infant values? *Vision Research* 42, 1639-49.
- Pereverzeva, M., & Teller, D.Y., (2009) Simultaneous color contrast in 4-month-old infants. *Perception*, 38, 30-43.
- Peterzell, D.H., Werner, J.S., & Kaplan, P.S. (1995). Individual differences in contrast sensitivity functions: Longitudinal study of 4-, 6-and 8-month-old human infants. *Vision Research*, 35, 961-79.
- Pirchio, M., Spinelli, D., Fiorentini, A., & Maffei, L. (1978). Infant contrast sensitivity evaluated by evoked potentials. *Brain research*, 141, 179-84.
- Pulos, E., Teller, D.Y., & Buck, S.L. (1980). Infant color vision: a search for short-wavelength-sensitive mechanisms by means of chromatic adaptation. *Vision Research*, 20, 485-93.
- Suttle, C. M., Banks, M. S., & Graf, E. W. (2002). FPL and sweep VEP to tritan stimuli in young human infants. *Vision Research*, 42, 2879-2891.
- Teller, D.Y., & Lindsey, D.T., (1989). Motion nulls for white versus isochromatic gratings in infants and adults. *Journal of the Optical Society of America A*, 6, 1945-1954.
- Varner, D., Cook, J.E., Schneck, M.E., McDonald, M.A., & Teller, D.Y. (1985). Tritan discriminations by 1-and 2-month-old human infants. *Vision Research*, 25, 821-831.
- Yang, J., Kanazawa, S., & Yamaguchi, M.K. (submitted). Perception of Munker-White illusion in 4-to 8-month old infants.
- Yuodelis, C., & Hendrickson A. (1986). A qualitative and quantitative analysis of the human fovea during development. *Vision Research*, 26, 847-855.
- Zemach, I., & Teller, D. Y., (2007). Infant color vision: Infants' spontaneous color preferences are well behaved. *Vision Research*, 47 (10), 1362-1367.
- Zemach, I., Chang, S. & Teller, D.Y., (2007). Infant color vision: Prediction of infants' spontaneous color preferences. *Vision Research*, 47 (10), 1368-1381.