

立体視教材試作のための基礎研究

—静的立体視不良者における視能特性の評価—

田村 省悟

Preliminary study prior to trial production of a learning aid for use in stereoptic vision training

Shogo TAMURA

Abstract

The characteristics of the visual function of students with poor static stereopsis need to be clarified prior to manufacturing an experimental learning aid for teaching stereopsis. Therefore, we evaluated individual quantitative visual functions, including parvocellular, magnocellular, ventral and dorsal pathway functions. Our subjects were 118 students who had received training to become orthoptists. Based on a survey of their static stereopsis, these subjects were categorized into four groups: good stereopsis, unstable stereopsis, poor stereopsis and no stereopsis. We evaluated the parvocellular, magnocellular, ventral and dorsal pathway functions in the latter three groups. To evaluate the parvocellular and ventral pathways, static stereopsis was examined using the Titmus stereo test. To evaluate the magnocellular and dorsal pathways, contrast sensitivity was examined using frequency-doubling technology, and motion stereopsis was examined using the MV-200. Three of 118 (2.5%) students were in the unstable stereopsis group, three (2.5%) were in the poor stereopsis group and two (1.7%) were in the no stereopsis group. Thus, we concluded that trial production of a learning aid for stereopsis training using a dynamic approach would be useful for students with abnormal magnocellular and dorsal function.

Key words : stereopsis, learning aid, dynamic approach, magnocellular pathway, dorsal pathway

キーワード : 立体視、教材、動的な手がかり、magnocellular pathway、背側経路

緒言

視能訓練士の業務の1つに視能矯正・訓練がある。視能矯正・訓練では、患者が満足できる quality of visual life (以下、QOVL) を獲得させることを最終目的に、視能矯正・訓練計画を実施し、良好な視力の獲得、まっすぐな眼位に矯正することから始まる。その上で左右眼からの視覚情報を視中枢に入力後、両眼の像を1つに統合し、三次元の視覚認識を得る両眼立体視 (以下、立体視) の獲得を目指して、その訓練 (以下、立体視訓練) を実施する¹⁾。立体視訓練では、導入として、患者に両眼視差から生ずる立体視の感覚がどのような

見え方をするのかを教える必要がある。そのため、立体視訓練を行う視能訓練士自身が立体視に基づく感覚を熟知しておかなければならない。

近年、3D テレビや3D映画を媒体とした3D映像の普及が急速に進んでいる。3D映像の多くは両眼視差から生ずる立体視を利用しており、立体視がQOVLへ及ぼす影響は一層大きくなっている。視能訓練士においても、立体視に基づく感覚の理解が重要性を増していることは言うまでもない。

しかしながら、視能訓練士を目指す学生の中に、立体視がどのような見え方をするのか経験したことのない者が在籍することが学内の視能検査実習中に明らか

になった。現在に至るまで、視能訓練士を目指す学生に対する、立体視の感覚を教えるための有用な教材は開発されていない。そこで、本研究では、立体視の経験のない学生にその感覚を教え、理解を促すことを目的とした立体視教材の作成を最終目的とした。

立体視には静的立体視と動的立体視があり²⁾、両者の視覚情報処理経路は異なる。精密な静的立体視は、網膜神経節細胞の β -ganglion cellから外側膝状体3・4・5・6層でニューロンをかえ、後頭葉皮質第1次視覚野に至るparvocellular pathway(以下、P系)、さらに視覚前野から側頭葉を経由する腹側経路(以下、P系-腹側経路)で情報処理が行われる。P系-腹側経路は高空間周波数、低時間周波数によく反応するため、精密な静的立体視に加え、パターン認識、テクスチャー認識、形態覚、色覚に関する視覚情報処理に参与している。一方、大まかな静的立体視および動的立体視は、網膜神経節細胞の α -ganglion cellから外側膝状体1・2層でニューロンをかえ、後頭葉皮質第1次視覚野に至るmagnocellular pathway(以下、M系)、さらに視覚前野から頭頂葉を経由する背側経路(以下、M系-背側経路)で情報処理が行われる。M系-背側経路は低空間周波数、高時間周波数によく反応するため、動的立体視に加え、高頻度フリッカー、周辺視野、動態覚、コントラストに関する視覚情報処理に参与している³⁻⁸⁾。

M系-背側経路はP系-腹側経路に先行して発達することから、斜視が発症した場合、動的立体視は静的立体視より温存されやすいことが報告されている(9-12)。したがって、立体視不良者は、それぞれの病態に応じて、M系-背側経路およびP系-腹側経路の両方が障害されている場合、P系-腹側経路のみが障害されている場合など、障害にバリエーションがあると考えられる。温存される視能も障害のタイプによって異なるため、立体視教材は各障害のタイプに応じた視標を作成することが適切であると考えられる。

本研究では、立体視教材の試作に向けた基礎研究として、静的立体視が不良な学生の視能特性を明らかにするために、原因分析として視能、P系-腹側経路およびM系-背側経路の機能を評価した。

対象及び方法

1. 対象

対象は九州保健福祉大学保健科学部視機能療法学科の学生118名(男性51名、女性67名)であった。平

均年齢は年齢は18~32歳(平均 \pm SD:20.24 \pm 2.01歳)であった。研究実施にあたり、対象者へ研究目的、内容および個人情報の取り扱いについて十分に説明し、自由意志に基づく同意を得た。

2. 方法

1) 静的立体視の実態調査

静的立体視の定量評価には、Titmus stereo test(以下、TST)、TNO stereo test(以下、TNO)を用い、完全屈折矯正下で実施した。立体視の正常値を60 sec. of arc以下とし(13)、TSTとTNOの測定結果から対象者を4群に分類した。TST、TNOともに立体視60 sec. of arc以下の者を立体視良好群、TSTにて60 sec. of arc以下、TNOにて60 sec. of arcより大きい者を立体視不安定群、TST、TNOともに60 sec. of arcより大きい者を立体視不良群、TST、TNOともに立体視を認めなかった者を立体視なし群とした。

2) 静的立体視不良者の原因分析

立体視不安定群、立体視不良群、立体視なし群を対象に、その原因分析として視能、P系-腹側経路およびM系-背側経路の機能を評価した。

a. 視能の評価

視能の評価として視力・屈折検査、眼位検査、動的立体視検査を実施した。視力・屈折検査は自然瞳孔下にて実施し、屈折度には等価球面度数を採用した。眼位検査はalternate prism cover testにて近見および遠見眼位を測定した。

動的立体視検査はNIDEK社製MV-200を用いた。視標の動きは、四角図形の左右移動、四角図形と円図形の前後同移動、四角図形と円図形の前後逆移動の3パターンを呈示した。視標の速さは、早い、普通、遅いの3パターンを表示した。結果の評価は、3群に分類した。全パターンの視標を正答した場合を動的立体視良好(以下、+)、全パターンの視標を正答できなかった場合を動的立体視なし(以下、-)、1パターンでも視標を正答した場合を動的立体視不良(以下、 \pm)とした。

b. 静的立体視不良者におけるP系-腹側経路およびM系-背側経路の機能評価

P系-腹側経路の機能評価として、TSTを用いた静的立体視検査を、測定日を変えて3回実施した。

M系-背側経路の機能評価として、動的立体視検査およびfrequency doubling technology perimetry(以下、FDT)によるコントラスト感度測定を実施した。動的立体視検査は、視能の評価時と同様の方法で、測定日を変えて実施した。FDTの測定には、Carl Zeiss

社製 Humphrey Matrix を用い、検査プログラムは 30-2 FDT Full Threshold Test を使用した。検査の評価には、左右眼の測定結果のうち平均コントラスト感度の低い眼の結果を採用した。さらに、平均偏差 (Mean Deviation、以下 MD)、パターン標準偏差 (Pattern Standard Deviation、以下 PSD)、中心 5° 以内のコントラスト感度、中心 10° 以内のコントラスト感度の 4 つを、静的立体視不安定群、静的立体視不良群、静的立体視なし群、立体視良好群の 4 群間で比較した。中心 5° および 10° 以内のコントラスト感度は上耳側、下耳側、中心部、下鼻側、上鼻側の 5 領域に分割し、それぞれを 4 群間で比較した。

統計学的検討は、すべて Kruskal Wallis H-test を用い、危険率 5% 未満を有意とした。

結 果

1. 静的立体視の実態調査

静的立体視の定量評価の結果を図 1 に示す。TST では 60 sec. of arc 以下を示した対象者が 113/118 名 (95.8%)、61 ~ 100 sec. of arc が 1/118 名 (0.8%)、101 ~ 3000 sec. of arc が 2/118 名 (1.7%)、立体視なしが 2/118 名 (1.7%) であった。TNO では 60 sec. of arc 以下を示した対象者が 110/118 名 (93.2%)、61 ~ 100 sec. of arc がなし、101 ~ 3000 sec. of arc が 6/118 名 (5.1%)、立体視なしが 2/118 名 (1.7%) であった。

TST と TNO の測定結果に基づいた分類を図 2 に示す。立体視良好群は 110/118 名 (93.2%) であった。立体視不安定群は 3/118 名 (2.5%) であった。立体視不良群は 3/118 名 (2.5%) であった。立体視なし群は 2/118 名 (1.7%) であった。

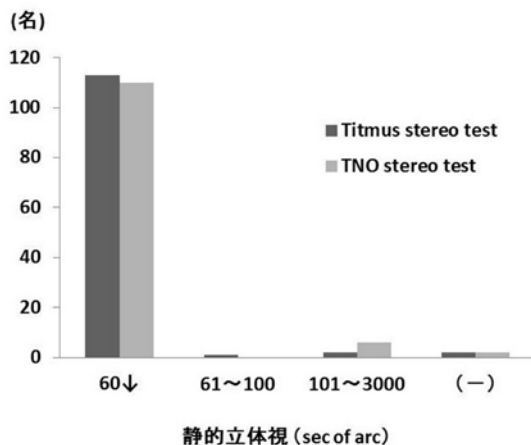


図 1. 静的立体視の定量評価結果

静的立体視の定量評価結果を示す。Titmus stereo test では 61 ~ 100 sec. of arc が 0.8%、101 ~ 3000 sec. of arc が 1.7%、立体視なしが 1.7% であった。TNO stereo test では 101 ~ 3000 sec. of arc が 5.1%、立体視なしが 1.7% であった。

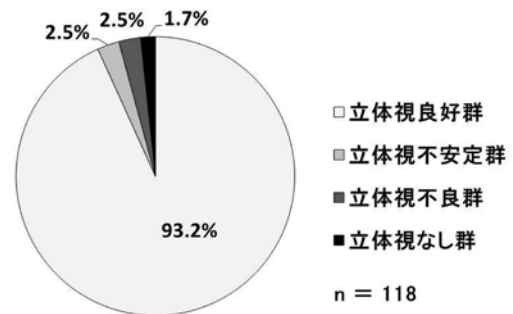


図 2. 静的立体視の定量評価結果に基づいた分類

Titmus stereo test と TNO stereo test の検査結果に基づいた分類を示す。立体視良好群は 93.2% (110/118 名)、立体視不安定群は 2.5% (3/118 名)、立体視不良群は 2.5% (3/118 名)、立体視なし群は 1.7% (2/118 名) であった。

2. 静的立体視不良者における視能の評価

静的立体視不良者における視力、屈折、眼位、動的立体視の測定結果を示す (表 1)。立体視不安定群について、屈折は事例 A、C に強度の近視、B に不同視がみられた。動的立体視は事例 A、B が「+」、事例 C が「-」であった。立体視不良群について、全 3 例に眼位異常がみられた。屈折は事例 E に強度の近視、事例 F に軽度の遠視がみられた。動的立体視は全 3 例とも「+」であった。立体視なし群について、全 2 例で眼位異常がみられた。視力は事例 H に左眼弱視がみられた。屈折は事例 G に中等度の近視がみられた。動的立体視は事例 G が「±」、事例 H が「-」であった。

3. 静的立体視不良者における P 系 - 腹側経路および M 系 - 背側経路の機能評価

静的立体視検査は静的立体視の実態調査時と、動的立体視検査は視能の評価時と同様の結果が得られた。

FDT によるコントラスト感度測定の結果より得られた MD、PSD を表 2 に示す。MD ($p = 0.28$)、PSD ($p = 0.06$) とともに 4 群間で有意差はみられなかった。中心 5° 以内のコントラスト感度を図 3 に示す。上耳側 ($p = 0.95$)、下耳側 ($p = 0.33$)、中心部 ($p = 0.91$)、下鼻側 ($p = 0.50$)、上鼻側 ($p = 0.19$) のすべてにおいて、4 群間に有意差はみられなかった。中心 10°

以内のコントラスト感度を図4に示す。上耳側(p = 0.92)、下耳側(p = 0.96)、中心部(p = 0.91)、下鼻側(p = 0.29)、上鼻側(p = 0.27)のすべてにおいて、4群間に有意差はみられなかった。

表 1. 静的立体視不良者の視能特性

分類	事例	年齢 (歳)	性別	視力	屈折度 (D)	眼位	動的 立体視	TST (sec of arc)	TNO (sec of arc)
立体視不安定群	A	19	女	R 0.08(2.0)	-6.75	近見: orthophoria	+	40	120
				L 1.5(1.5)	-6.00	遠見: orthophoria			
立体視不安定群	B	18	男	R 0.6(1.5)	-0.50	近見: 2ΔE	+	60	120
				L 0.8(1.5)	+1.75	遠見: orthophoria			
立体視不安定群	C	20	男	R 0.2(2.0)	-7.00	近見: 6ΔX	-	50	480
				L 0.2(1.5)	-5.50	遠見: orthophoria			
立体視不良群	D	19	女	R 0.8(2.0)	-0.75	近見: 30ΔX(T)&6ΔR/LHT	+	140	120
			L 1.5(2.0)	+0.25	遠見: 20ΔXT&8ΔR/LHT				
立体視不良群	E	20	女	R 0.06(2.0)	-6.75	近見: 20ΔX(T)&4ΔL/RHT	+	140	240
				L 0.04(2.0)	-6.25	遠見: 30ΔXT&4ΔL/RHT			
立体視不良群	F	18	女	R 1.5(1.5)	+1.00	近見: 14ΔE(T)	+	80	1980
				L 1.5(1.5)	+0.50	遠見: 14ΔET			
立体視なし群	G	22	女	R 0.05(1.5)	-3.25	近見: 12ΔET	±	立体視なし	立体視なし
				L 0.06(2.0)	-3.75	遠見: 6ΔE			
立体視なし群	H	19	女	R 1.5(1.5)	0.00	近見: 16ΔET	-	立体視なし	立体視なし
				L 0.3(0.3)	+1.00	遠見: 20ΔET			

表 2. 静的立体視不良者の Mean Deviation と Pattern Standard Deviation

	立体視良好群 n=21	立体視不安定群 n=3	立体視不良群 n=3	立体視なし群 n=2	p値
Mean Deviation (dB)	-2.11±2.03	-2.80±2.96	-4.13±0.66	-1.51±2.10	0.28
Pattern Standard Deviation (dB)	-2.89±0.28	-3.70±0.71	-3.42±0.32	-3.98±0.73	0.06

Mean Deviation および Pattern Standard Deviation (平均値 ± 標準偏差) について、立体視良好群、立体視不安定群、立体視不良群、立体視なし群の4群間に有意差はみられなかった (Kruskal Wallis H-test, p < 0.05)。

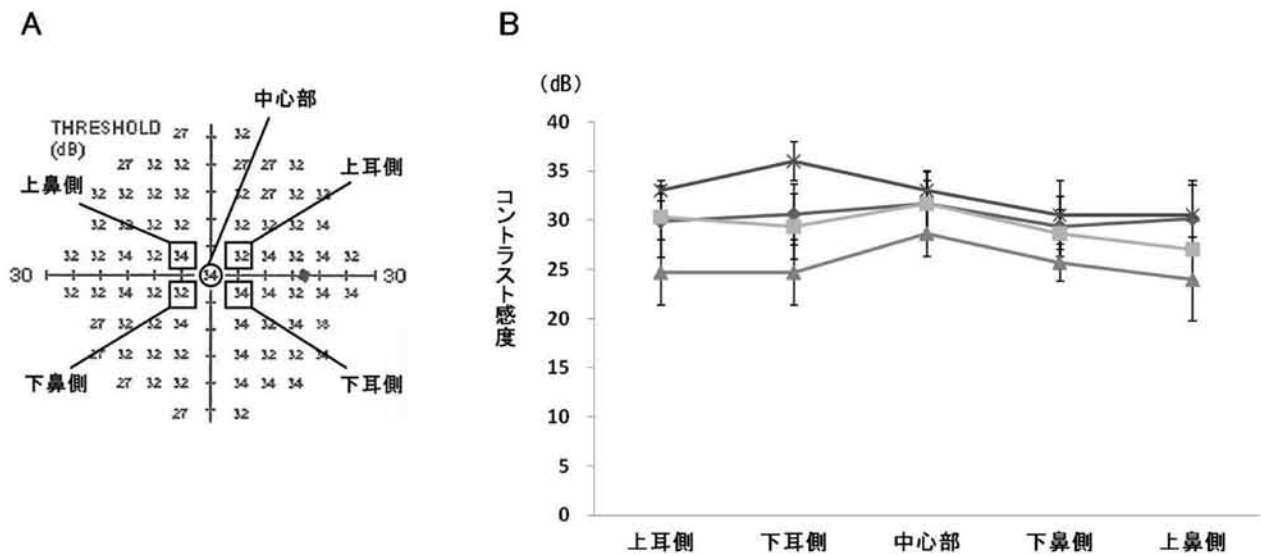


図 3. 中心 5° 以内におけるコントラスト感度の比較

A：1 事例の検査結果を例に解析に用いた測定点を示す。B：立体視良好群、立体視不安定群、立体視不良群、立体視なし群の中心 5° 以内におけるコントラスト感度を示す。各 5 領域について、4 群間に有意差はみられなかった (Kruskal Wallis H-test, $p < 0.05$)。◆：立体視良好群 (n = 21)、■：立体視不安定群 (n = 3)、▲：立体視不良群 (n = 3)、×：立体視なし群 (n = 2)。

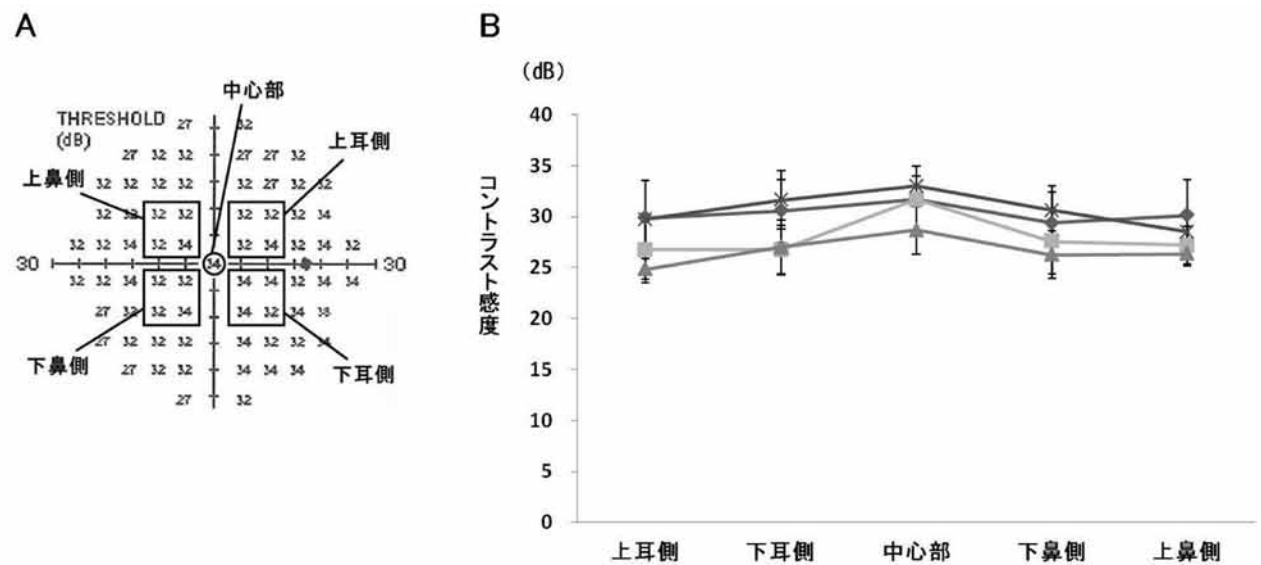


図 4. 中心 10° 以内におけるコントラスト感度の比較

A：1 事例の検査結果を例に解析に用いた測定点を示す。B：立体視良好群、立体視不安定群、立体視不良群、立体視なし群の中心 10° 以内におけるコントラスト感度を示す。各 5 領域について、4 群間に有意差はみられなかった (Kruskal Wallis H-test, $p < 0.05$)。◆：立体視良好群 (n = 21)、■：立体視不安定群 (n = 3)、▲：立体視不良群 (n = 3)、×：立体視なし群 (n = 2)。

考 按

静的立体視の実態調査の結果、立体視不安定群が2.5% (3/118名)、立体視不良群が2.5% (3/118名)、立体視なし群が1.7% (2/118名)にみられ、対象の視能訓練士養成校における静的立体視不良者の割合が6.8% (8/118名)である現状が明らかになった。静的立体視不良者の75% (6/8名)について、動的立体視が認められたことより、M系-背側経路が正常な静的立体視不良者には動的な手がかりを用いた立体視教材が有用であることが示唆された。静的立体視不良者の25% (2/8名)について、動的立体視が認められなかったこと、FDTによるコントラスト感度の測定で4群間に有意差がみられなかったことより、背側経路に異常を有することが示唆された。

対象の視能訓練士養成校における静的立体視不良者の割合が、6.8%である現状が明らかになった。6.8%とは、対象学科の1学年につき、約2~3名の静的立体視不良者が存在したことに相当する。全国の視能訓練士を目指す学生においても同程度の割合で静的立体視不良者が存在する可能性が推測されるため、立体視教材を開発する意義は大きいといえる。

M系-背側経路が正常な静的立体視不良者には、動的な手がかりを用いた立体視教材が有用であることが示唆された。静的立体視不良者の8名中6名に動的立体視を認め、斜視を有する静的立体視不良者では5名中4名に、内斜視を有する静的立体視不良者では2名中1名に動的立体視が認められた。渡辺らは内外斜視患者の中に動的立体視の認められる症例が示されたと報告しており¹¹⁻¹²⁾、Maedaらは静的立体視を認めない内斜視患者の約半数に動的立体視を認めたと報告している¹⁰⁾。対象数は少ないが、本研究においても、渡辺ら、Maedaらの報告と同様の結果が得られた。動的立体視が認められた静的立体視不良者は正常なM系-背側経路の機能を有していると考えられるため、M系-背側経路で情報処理される視能、特に動的な手がかりが立体視教材に有用であると示唆された。

静的立体視不良者の8名中2名について、背側経路に異常を有することが示唆された。M系-背側経路の機能評価に用いたFDTは、FD illusionという現象を利用した視野検査法である。M系の一部である α -ganglion cellは、大型で余剰性の少ない網膜神経節細胞である。さらに細胞数は、全網膜神経節細胞のわずかに約10%を占めるにすぎず、 α -ganglion cellの障害は他の網膜神経節細胞に比べ表出されやすい。FD

illusionは α -ganglion cellの反応を選択的に捉えるため、臨床において緑内障のスクリーニングに利用されている¹⁴⁾。本研究では、FDTを用いコントラスト感度を測定することで、網膜から後頭葉皮質第1次視覚野に至るM系の機能を評価した。測定の結果、MD、PSD、中心5°および10°以内のコントラスト感度のすべてにおいて、4群間に有意差はみられず、静的立体視不良者8名はM系の機能が正常であると考えられた。動的立体視の評価結果を併せて考えると、動的立体視を認めなかった静的立体視不良者2名は、後頭葉皮質第1次視覚野より高次の背側経路に異常を有することが示唆された。

立体視教材に動的な手がかりを用いることは、動的要素の多い日常視生活により近い条件で立体視を理解できる利点がある。立体視教材の開発は、視能訓練士を目指す立体視の経験のない学生に、立体視の感覚を教え、理解を促す一助になると期待される。眼科臨床においても、立体視訓練を必要とする患者の訓練効果を向上させる一助になると期待される。

今後は、M系-背側経路に異常を認めない静的立体視不良者に対して、動的な手がかりを用いた立体視教材を試作したい。一方、背側経路に異常を認める静的立体視不良者に対しては、視覚誘発電位を用いて背側経路を評価する必要がある。さらに、どのような視標が有用であるか視覚誘発電位を用いて検討したい。

稿を終えるにあたり、長期に渡り熱心にご指導・ご校閲を賜りました日本視能訓練士協会 深井 小久子先生、九州保健福祉大学保健科学部視機能療法学科 岡野 真弓 准教授に深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 深井小久子 (丸尾敏夫, 久保田伸枝, 深井小久子編): 非観血療法-視能矯正・訓練:視能学, 文光堂, 東京, p383-403, 2005.
- 2) 馬場聖, 粟屋忍: 両眼運動立体感および動的立体視に対する視力, 不等像視, 顕性偏位の影響に関する研究. 日本弱視斜視学会雑誌 28: 88-91, 2001.
- 3) Livingstone M, Hubel D: Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. Science 240: 740-749, 1988.
- 4) 中山幸 (丸尾敏夫, 久保田伸枝, 深井小久子編): 脳と神経: 視能学, 文光堂, 東京, p22-27, 2005.

- 5) 佐藤宏道, 小松英彦, 三上章允, 他 (内川恵二編) : 視覚系生理の基礎: 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店, 東京, p53-95, 2000.
- 6) 清澤源弘 (大鹿哲郎編) : 視路の解剖: 眼科プラクティス 6 眼科臨床に必要な解剖生理, 文光堂, 東京, p268-277, 2005.
- 7) 矢ヶ崎悌次, 村口香, 松浦葉矢子, 他: 立体視力と抑制暗点水平径との関連. 眼科臨床医報 101 : 69-75, 2007.
- 8) 矢ヶ崎悌次, 鈴木 瑞紀, 松浦葉矢子, 他: 不同視弱視の両眼視機能. 眼科臨床医報 97 : 377-382, 2003.
- 9) Hammarrenger B, Leporé F, Sarah Lippé, et al : Magnocellular and Parvocellular developmental course in infants during the first year of life. Doc Ophthalmol 107 : 225-233, 2003.
- 10) M Maeda, M Sato, M Ohmura : Binocular Depth - from - Motion in infantile and Late-Onset esotropia patients with poor stereopsis. Invest Ophthalmol Vis Sci 40 : 3031-3036 , 1999.
- 11) Y Watanabe, T Kezuka, K Harasawa, et al : A new method for assessing motion - in - depth perception in strabismic patients. British Journal of Ophthalmology 92 : 47-50, 2008.
- 12) 渡辺裕士, 毛塚剛司, 原沢佳代子, 他: 斜視患者の奥行き運動知覚. 神経眼科 23 : 428-435, 2006.
- 13) 岩田美雪, 粟屋忍 (久保田伸枝編) : ステレオテスト: 眼科 MOOK31 視能矯正, 金原出版, 東京, p93-102, 1987.
- 14) 高橋現一郎: FDT. 眼科 47 : 293-302, 2005.