

学位記番号	※ 甲第 56 号
-------	-----------

主 論 文 の 要 旨

論文題目 頭位傾斜による網膜座標の傾きが視力に及ぼす影響
— 縞視標・かな視標・読み課題による実験的研究 —

氏 名 稲垣 尚恵

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、肢体不自由の児・者が持つ「姿勢の異常」が視力に及ぼす影響について明らかにすることを目的として、健常者を対象に頭位傾斜のシミュレーションを行い、頭位の傾斜によって生じる網膜座標の傾きが視力に及ぼす影響について実験的に検討した。また、本研究では、視標の呈示角度を実験条件に加えることにより、頭位傾斜がある児・者に対し配慮すべきことや視力検査の視標、教材や課題の呈示方法について提言する。

本論文は 7 章からなり、第 1 章の序論では、本研究のテーマである「姿勢の異常と視力」を取り上げることになった背景を記した。第 2 章では頭位の傾斜によって生じる事象についての先行研究を示し、問題点を明らかにした。先行研究のうち第 1 節の眼球反対回旋（以下 OCR）と第 3 節の oblique 効果（Appelle, 1972）を本研究の枠組みとして、頭位傾斜が視力に及ぼす影響について明らかにするために、第 3 章から第 6 章まで、4 つの実験を行った。第 7 章では実験により得られた知見をもとに、総合考察をおこない、モデルを提案した。

頭位を側方に傾斜させると、頭位傾斜と反対側へ眼球の回旋運動（OCR）が生じる。OCR は前庭動眼反射のひとつで、網膜上の外界の映像を恒常安定化させようとする生理的現象とされる（内野, 1993）。OCR について近年の報告では頭位傾斜の 10～25% の割合で生じ（Kheradmand & Winnick, 2017; Mikellidou et al., 2015）、頭位傾斜に対する OCR の割合は、頭位傾斜 50° 付近までは頭位傾斜ともに一定に増加するが、その後頭位傾斜角度に対する割合は低下し、頭位傾斜角度により割合が異なるとされる（Diamond & Markham, 1983; Hamasaki et al., 2005; 野村ら, 2000）。しかし、いずれの場合も OCR が補償する回転角度は頭位傾斜の一部にすぎないため、頭位が傾斜すると網膜座標は傾くと考えられ、視力に及ぼす影響として oblique 効果が考えられる。Oblique 効果とは「斜め方向の視覚刺激に対する感受性が低い」というもので、小保内・村松（1935）は、Landolt 環を用いた視力検査を行う際は、斜め方向の呈示は避けるべきとしているが、頭位の傾斜があると、視標は網膜座標上傾斜して投影されることになり、視力に影響を及ぼすのではないかという疑問が生じる。そこで本研究では、実験 1 として OCR を実際に

測定し、実験 1 と同じ実験参加者で同じ実験環境・頭位傾斜条件で縞視標を刺激とした方位弁別課題（実験 2）を行い、頭位傾斜によって生じる網膜座標の傾きと視標の呈示角度が正答割合に及ぼす影響について検討した。本研究での OCR 測定は、広く肢体不自由の児・者を対象として測定をすることを視野に入れ、頭部の固定は最小限にとどめ、特別な環境や薬物を使用することなく、無散瞳で市販のデジタルカメラの顕微鏡モードを用いて前眼部を撮影した。分析に十分な前眼部が撮影され、特徴的な虹彩紋理を手がかりに眼球の回旋角度を測定し、頭位傾斜 -90° 条件では $7.9^{\circ}(8.8\%)$ 、頭位傾斜 -45° 条件では $4.8^{\circ}(10.7\%)$ 、頭位 $+45^{\circ}$ 条件では $5.5^{\circ}(12.3\%)$ の OCR が生じることが示された。頭位傾斜 -90° 条件では、頭位傾斜に対する OCR の割合は低くなり、個人差も個人内のばらつきも大きかった。これらの結果と虹彩紋理を手がかりに OCR を測定した Hamasaki et al.(2005)の結果とサーチコイルを使って測定した Bockisch & Haslwanter (2001)の結果と比較した。頭位傾斜 $\pm 45^{\circ}$ 条件では実験 1 の結果は、Hamasaki et al.(2005)の結果より小さかったが、Bockisch & Haslwanter (2001)の結果とは同等であった。頭位傾斜 $\pm 90^{\circ}$ 条件では実験 1 の結果が Bockisch & Haslwanter (2001)の結果より大きく測定された（Hamasaki et al.は頭位傾斜 $\pm 90^{\circ}$ 条件の測定をしていない）。この違いは頭位傾斜 $\pm 45^{\circ}$ 条件では Hamasaki et al. (2005)は、バイト・バー等を使用して頭位角度を厳密に制御したことが考えられ、頭位傾斜 $\pm 90^{\circ}$ では Bockisch & Haslwanter (2001)は、身体ごと 90° 回転させたが、実験 1 は側臥位で行ったことによると考えられた。これらのことから、OCR は頭部の固定方法やその厳密さの程度により影響を受けると考えられた。実験 1 で得られた OCR は頭位の固定を厳密に行わなかったことによる影響で測定結果の精度が低くなったと考えられるが、頭位傾斜に対する OCR の特徴（OCR が生じる割合は頭位傾斜 $\pm 45^{\circ}$ 条件より頭位傾斜 -90° 条件で減少した）を有しており、近年の報告（Kheradmand & Winnick, 2017; Mikellidou et al., 2015）と近似していることから、各頭位傾斜条件の OCR として妥当な値と考える。

実験 2 の縞視標の方位弁別課題では、実験参加者の視力の閾値付近（小数視力 1.0, 1.3）で頭位傾斜と視標呈示角度の影響が現れ、頭位傾斜 0° 条件、頭位傾斜 $\pm 45^{\circ}$ 条件では頭位の傾斜角度から視標の呈示角度条件を減じた網膜座標上の視標の呈示角度が $\pm 45^{\circ}$ での縞視標の正答割合が網膜座標上 0° 、 $\pm 90^{\circ}$ に呈示された正答割合より低くなる oblique 効果が認められた。頭位傾斜がある条件では、OCR が生じるため網膜座標上の呈示角度から OCR 分ずれて視標が呈示されていることになる。網膜座標上の呈示角度から OCR を減じて検討を行ったところ、網膜座標上 0° 、 $\pm 90^{\circ}$ では、頭位傾斜 $\pm 45^{\circ}$ 条件と頭位傾斜 0° 条件の正答割合との間に有意な差は認められなかったが、網膜座標上 $\pm 45^{\circ}$ に視標が呈示された場合は、頭位傾斜 $\pm 45^{\circ}$ 条件の正答割合が頭位傾斜 0° 条件の正答割合より有意に低くなり、oblique 効果が強く現れた。このことから、OCR による網膜像の傾き補正は 0° 、 $\pm 90^{\circ}$ を軸として行われ、網膜座標上 $\pm 45^{\circ}$ からの情報が不良となり oblique 効果が強くなったのではないかと考えられた。一方、頭位傾斜 -90° 条件は、他の頭位傾斜条件に比べ、正答割合が低くなり、網膜座標を軸とした oblique 効果も減少した。ベッド上で側臥位によって測定した頭位傾斜 -90° 条件で測定された OCR は、頭位傾斜 $\pm 45^{\circ}$ 条件の OCR より大きいですが、頭位傾斜角度に対する OCR の割合は少なく、ばらつきも大きかった。このことは、頭位傾斜 -90° 条件では頭位の傾斜情報が正しく伝達さ

れていないことを表しているのではないかと考えられた。頭位傾斜 $\pm 45^\circ$ 条件では網膜座標 0° , $\pm 90^\circ$ を軸に傾き補正が行われたが、頭位傾斜 -90° 条件では網膜像の傾き補正が不十分となり、正答割合の低下、oblique 効果の減少が生じたのではないかと考えられ、OCR の oblique 効果への関与が示唆された。しかし、OCR は重力のみでなく覚醒度、脊髄上行路の刺激、視野刺激等に影響をうける（小林ら、2001；野村ら、2000）と報告されており、側臥位によって測定した頭位傾斜 90° 条件は頭位傾斜 45° 条件とは異なり、体性感覚をはじめとする異なる感覚の関与が考えられ、今後も研究の継続が必要と考えている。

かな視標の同定課題を行った実験 3 では、実験 2 と同様に実験参加者の視力の閾値付近で頭位傾斜（小数視力 1.58 以上）と視標呈示角度（小数視力 1.26 以上）による影響が生じた。しかし、oblique 効果は認められず、網膜座標上 0° （垂直）からのかな視標の回転角度の増大に伴い正答割合が低下した。文字であるかなの同定課題では、必要に応じて文字を回転させ（Shepard & Metzler, 1971）、照合する過程が必要となるため、縞視標の方位弁別課題より高次で処理されたことが示唆された（稲垣、2022）。実験 3 においても側臥位によって測定した頭位傾斜 $+90^\circ$ 条件は、閾値に近づくと実験 2 と同様にすべての呈示角度で他の頭位傾斜条件より正答割合が有意に低くなり、網膜座標上 0° の正答割合が高くなるというかな視標の同定課題の特徴が消失した。

実験 2、実験 3 の結果から、頭位の傾斜と視標の呈示角度が縞視標・かな視標の正答割合に影響を及ぼすことが明らかとなったが、これらの影響は、実験参加者の閾値付近（実験 2 では小数視力 1.0 以上、実験 3 では小数視力 1.26 以上）で現れた。このことから、十分に無理なく読める大きさの文字であれば頭位の傾斜の影響はないのではないかと考えられる。そこで実験 4 では、読書能力を測定するチャートである MNREAD-J を用いて実用的な読みができる臨界文字サイズを実験参加者ごとに決定し、臨界文字サイズより $0.1 \log \text{MAR}$ （小数視力 0.16~0.32）大きい文字サイズ（閾上の文字サイズ）で漢字かな交じりの読み課題を作成し、頭位傾斜のない頭位傾斜 0° 条件（座位）と頭位傾斜 $+90^\circ$ 条件（右下側臥位）の 2 条件で、読書速度を比較した。実験 2、実験 3 は暗室で、方位の手がかりをできるだけ取り除いて実験を行ったが、実験 4 は日常に近い条件として方位の手がかりのある明室で行った。頭位傾斜条件と視標の呈示条件はブロック内で同一として、ブロック毎に練習試行を十分に行った。また、各試行においても、読み課題刺激と読み課題刺激の方位を示す手がかり刺激を 1 組として呈示し、文字の「上」を示す方位手がかりを十分に与えた。実験の結果、閾上の大きさの文字で作成された読み課題刺激を用いても、頭位傾斜による影響が生じ、頭位傾斜 0° 条件の読書速度が頭位傾斜 $\pm 90^\circ$ の読書速度より有意に速く、頭位傾斜条件に関わらず、網膜座標上 0° に読み課題刺激を呈示した条件で読書速度が速かった。網膜座標上 0° に呈示した条件では頭位傾斜条件の影響は認められなかったが、網膜座標軸上 $\pm 90^\circ$ に呈示した条件では頭位傾斜 $+90^\circ$ 条件の読書速度が頭位傾斜 0° 条件より有意に遅かった。

心的回転課題の実験で方位の手がかりを十分に与えると文字の回転の影響が生じないことが報告されているように（Cooper & Shepard, 1973）、ある刺激を呈示されたり、教示されることによって知覚や問題解決、学習において予期したり準備状態に入ったりすることを「構え」とされる（Luchins, 1942）。実験 4 ではあらかじめ方位の手がかりを十分に与えたことが構えとなり、実験 2、実験 3 では視標の

呈示角度条件を変えても頭位傾斜 0°条件と同等の正答割合が得られなかった側臥位による頭位傾斜 90°条件においても，網膜座標上 0°に読み課題刺激を呈示した条件では，頭位傾斜の影響は生じることなく，頭位傾斜 0°条件と有意差のない読書速度が得られたと考えられる。しかし，網膜座標軸上 90°に読み課題を呈示した条件では，方位の手がかりを十分に与えても頭位傾斜 0°条件の読書速度より有意に遅く，構えの効果が得られなかったと考えられる。

第 7 章では実験結果をまとめ，総合考察をおこない，「縞視標・かな視標・読み課題を刺激とした頭位傾斜時の視覚情報処理モデル」を提案した。実験 2 から実験 4 までの 3 つの実験の結果の違いは，中枢での視覚刺激の処理レベルの違いを反映していると考えられ，頭位傾斜の影響は視標の種類によって異なることが示された。縞視標は，OCR を含む網膜座標系に依存して処理されており，かな視標ならびに読み課題刺激は，縞視標より高次レベルの関わりが明らかとなった。モデルは視標の傾きと頭位の傾きの 2 つの傾き情報の入力から始まる。頭位の傾き情報により網膜座標が傾き，それと同時に傾き情報は耳石・半規管にも伝えられ，動眼神経核を経て OCR が生じる。実験 1 の結果から，頭位傾斜角度の約 9%～12% の OCR が生じ，網膜座標を反対回旋させ，網膜座標の傾きの補正を行い，視界を安定させていると考えられる。網膜座標の傾きと視標の傾きにより，網膜座標上の視標（網膜像）の傾きが決定され，網膜像は V1 に送られ，方位の検出が行われる。V1 では，水平・垂直に感受性を持つ神経細胞が斜めに感受性を持つ神経細胞より多く存在する (Bauer & Jordan, 1993; De Valois, Yund, & Hepler, 1982; Mansfield & Ronner, 1978; Li & Freeman, 2003) ことが報告されており，方位特異性 (Hubel & Wiesel, 1962, 1963, 1965; Li, Peterson, & Freeman, 2003) を持つことから oblique 効果が生じると考えられる。実験 2 の縞視標の方位弁別課題では，oblique 効果が生じたことから，縞視標の情報処理は V1 で終了し，網膜座標上 0°, ±90°に示された知覚が網膜座標上 ±45°に示されたものより鋭敏であるという V1 の特徴が反映されたと考えられる。実験 3 で行ったかな視標の同定課題の結果は網膜座標上 0°の正答割合が最も高く，かな視標の呈示角度の増加に伴い正答割合が低くなり，心的回転課題の結果に似たものとなった。このことから，文字であるかな視標は，腹側系で特徴抽出された後，側頭連合野で網膜座標 0°を基本軸ととする記憶表象と照合の上同定されるため，網膜像が傾いている場合には心的回転により補正されたと考えられる。このため，かな視標の同定課題では V1 の情報処理の特徴である oblique 効果が現れなかったと考えられる。実験 4 で行った読み課題刺激は漢字ひらがな交じりの文字刺激であることから，実験 3 のかな視標と同様に，側頭連合野において網膜像の傾きが補正され，記憶と照合されると考えられる。しかし，実験 4 では，予め文字列の方位や枠組みの方位の手がかりを与えることにより，呈示される読み課題刺激の上を予期し認知が容易になり（構え），実験 1，実験 2 では，他の条件に比べて有意に正答割合が低くなった頭位傾斜 ±90°条件でも，網膜座標上 0°に呈示すれば頭位傾斜のない頭位傾斜 0°条件と同等の読書速度を得ることができたと考えられた。実験 4 の読み課題読書速度の結果は，実験 3 のかな視標の同定課題より，より高次の関わりを反映するものであることが示唆された。

このモデルによる臨床現場への提言は，1) 頭位傾斜がある場合は，縞視標刺激では網膜座標上 0°, ±90°，かな視標刺激では網膜座標上 0°に呈示すること，2) 側

臥位を想定した頭位傾斜 $\pm 90^\circ$ 条件の正答割合は縞刺激・かな視標ともに低く、視標呈示角度によって頭位傾斜の影響を補うことができないこと、3) 読み課題を用いた実験から、予め方位の手がかりを与えることにより、頭位傾斜 90° 条件でも頭位傾斜 0° 条件と有意差のない読書速度となること、そして、4) 側臥位を想定した頭位傾斜 90° 条件で読み課題を網膜座標上 90° に呈示する条件では、方位の手がかりを与えても有意に読書速度が他の条件より低いことである。頭位傾斜 90° 条件で読み課題を呈示角度 $\pm 90^\circ$ に示す条件は、側臥位で日常生活を送る児・者が重力軸に沿って置かれたホワイトボードや視聴覚教材を見ている条件であることを留意しておく必要がある。

本研究では多様な病態を持つ児・者に対応する臨床的な手法ではなく、健康者を対象に、頭位傾斜のシミュレーションによる基礎研究を行った。頭位傾斜によって生じる網膜像の傾きを、視標の傾きや OCR による傾きと分離することにより条件を統制し、実験的にデータを取り、データを元に科学的に分析を行うことにより問題点が明らかとなったと考える。頭位傾斜のある状態になる理由や側臥位での生活を強いられる原因は様々で多岐に渡るため、本研究での結果がこのまま当てはまるものではない。特に OCR は重力や頤の動きによる耳石への入力を反映することから、生来側臥位で日常生活を送っている場合や、頤定が不安定である場合等、脊髄に問題がある児・者とは根本的に異なる可能性もある。本研究で示された頭位傾斜による網膜座標の傾きと視力の関係については、今後は障がいにより、頭位傾斜がある状態や側臥位で生活している児・者について OCR 測定をはじめとする臨床的研究によって検証し、発展させる必要があると考える。