

視覚刺激が誘発する不快感と身体動揺
-片頭痛患者と健常者における検討-

2016年1月

千葉大学大学院工学研究科
デザイン科学専攻デザイン科学コース

今泉 修

(千葉大学審査学位論文)

視覚刺激が誘発する不快感と身体動揺
-片頭痛患者と健常者における検討-

2016年1月

千葉大学大学院工学研究科
デザイン科学専攻デザイン科学コース
今泉 修

目次

要旨	6
略語	6
1. 序論	7
1.1. 視覚的不快と光過敏性	7
1.2. 幾何学的パターンが誘発する視覚的不快	8
1.3. 視覚的不快やまぶしさの機序	10
1.4. 片頭痛	14
1.4.1. 頭痛の分類	14
1.4.2. 片頭痛の特徴	15
1.4.3. 片頭痛の社会への影響	15
1.4.4. 片頭痛の前兆症状	16
1.4.5. 片頭痛の機序	17
1.4.6. 片頭痛の視覚特性	18
1.4.7. 片頭痛の視覚-前庭連合	20
1.4.7.1. 片頭痛の前庭症状	20
1.4.7.2. 片頭痛の視覚-前庭連合と姿勢制御	21
1.5. 視覚的不快に関する問題意識と介入	21
1.6. 視覚的不快を誘発する刺激の探索	22
1.6.1. 幾何学的パターンが誘発する視覚的不快：片頭痛患者と健常者の比較	22
1.6.2. 抽象絵画が誘発する視覚的不快：空間周波数解析の適用	24
1.6.3. 風景画像が誘発する視覚的不快：片頭痛患者と健常者の比較	25
1.6.3.1. 風景画像の不快感評定と画像解析	26
1.6.3.2. 画像加工を用いた風景画像の不快感評定と瞳孔径計測	27
1.6.4. 視覚的不快研究の展望	29
1.7. 本研究の目的	30
2. 検討1：絵画の画像特徴量に現れる片頭痛患者の視覚特性	31
2.1. 背景	31
2.1.1. Migraine art	31
2.1.2. 視覚的不快と空間周波数	32
2.1.3. 患者の心理特性と描画に現れる画像特徴量の関連	33
2.1.4. 検討1の目的	33
2.2. 方法	34

2.2.1. 解析された画像.....	34
2.2.2. 画像加工.....	37
2.2.3. 画像解析.....	37
2.2.4. 統計分析.....	37
2.3. 結果.....	37
2.3.1. 空間周波数の中域成分.....	37
2.3.2. 空間周波数スペクトルの傾斜.....	39
2.4. 考察.....	40
2.4.1. 検討1の主な知見.....	40
2.4.2. 検討1の限界.....	40
2.4.3. 検討1の展望.....	41
3. 検討2：運動錯視を用いた片頭痛患者の視覚・前庭機能の検討.....	43
3.1. 背景.....	43
3.1.1. 動的視覚刺激に誘発される身体動揺.....	43
3.1.2. 運動錯視.....	43
3.1.3. 運動錯視に誘発される身体動揺.....	44
3.1.4. 片頭痛患者における運動錯視および姿勢制御.....	45
3.1.5. 検討2の目的.....	46
3.2. 実験1.....	46
3.2.1. 方法.....	46
3.2.1.1. 参加者.....	46
3.2.1.2. 装置.....	46
3.2.1.3. 刺激.....	47
3.2.1.4. 手続き.....	47
3.2.1.5. 分析.....	48
3.2.2. 結果.....	49
3.2.2.1. 総軌跡長.....	49
3.2.2.2. 矩形面積.....	49
3.2.3. 考察.....	51
3.3. 実験2.....	52
3.3.1. 方法.....	52
3.3.1.1. 参加者.....	52
3.3.1.2. 刺激.....	52
3.3.1.3. 手続き.....	53

3.3.1.4. 分析	54
3.3.2. 結果	54
3.3.2.1. 総軌跡長	54
3.3.2.2. 矩形面積	54
3.3.2.3. 運動錯視の主観的強度	55
3.3.3. 考察	56
3.4. 総合考察	57
3.4.1. 検討2の主な知見	57
3.4.2. 重心動揺の総軌跡長と矩形面積	58
3.4.3. 運動錯視観察『後』の重心動揺への影響	58
3.4.4. 実験1と実験2の相違	59
3.4.5. 検討2の限界	59
3.4.6. 検討2の要約と展望	61
4. 結論	62
4.1. 要約	62
4.2. 展望	63
4.2.1. 光過敏性を配慮した生活環境デザインを目指して	63
4.2.2. 描画の画像解析研究による基礎・応用研究への貢献	63
4.2.3. 感覚モダリティ間および感情との相互作用	64
謝辞	66
参考文献	67

図表目次

図 1. 生活環境内の幾何学的パターン	9
図 2. オン中心型受容野を例にしたコントラスト強調モデル	12
図 3. Mach の帯	12
図 4. Hermann の格子	12
図 5. 閃輝暗点の例	17
図 6. 三叉神経と視覚系	18
図 7. 片頭痛患者群と健常群における幾何学的パターンの評定	24
図 8. 快風景画像と不快風景画像の空間周波数スペクトル	27
図 9. 片頭痛患者群と健常群における風景画像の不快感評定	28
図 10. 片頭痛患者群と健常群における風景画像観察時の瞳孔径変動率	29
図 11. (A) Migraine art, (B) Picasso, (C) van Gogh, (D) de Chirico それぞれと Non-migraine art とを比べる空間周波数スペクトル	38
図 12. 各画像群の空間周波数スペクトルの傾斜	40
図 13. 実験 1 と実験 2 で用いた蛇画像	44
図 14. 実験 1 と実験 2 で用いた装置	47
図 15. 身体重心の軌跡の XY 平面	48
図 16. 実験 1 の片頭痛患者群と健常群における各刺激条件の (A) 総軌跡長, (B) 矩形面 積, (C) 総軌跡長のロンベルグ率, (D) 矩形面積のロンベルグ率	50
図 17. 実験 2 で用いた統制画像	53
図 18. 実験 2 の片頭痛患者群と健常群における各刺激条件の (A) 総軌跡長, (B) 矩形面 積, (C) 総軌跡長のロンベルグ率, (D) 矩形面積のロンベルグ率	55
図 19. 実験 2 の片頭痛患者群と健常群における各刺激の運動錯視の主観的強度	56
表 1. 画像解析に用いられた Possible-migraine art	35
表 2. 画像解析に用いられた Non-migraine art	36

要旨

本研究は、特異な視知覚や視覚-前庭連合のある片頭痛患者の理解を目指して、視覚刺激に誘発される不快感と身体動揺を調べた。第1章では、視覚刺激の空間的特性に起因する視覚的不快について、幾何学的模様や風景画像を用いて視覚的不快に寄与する空間周波数特性を調べた申請者の既往研究を踏まえて概説する。また、視覚的不快を感じやすい片頭痛患者について、特異な視覚特性や前庭性随伴症状、それらの相互作用が姿勢制御に波及する可能性を議論する。第2章では、片頭痛を有する画家が描いた絵画に視覚的不快に寄与する空間周波数特性が現れることを、画像解析によって示したことを報告する。画家本人が視覚的不快を経験しやすいにも関わらず、不快に寄与する空間的特性を描画に応用することが示唆された。第3章では、片頭痛患者の姿勢制御が、運動錯視をともなう静止視覚刺激からどのように影響されるかを実験で検討したことを報告する。運動錯視刺激を用いて、身体の動揺を片頭痛患者と健常者において計測した。視覚刺激は片頭痛患者において運動錯視を誘発するだけでなく身体動揺も誘発し、その残効が長くとも30秒間ほど持続することが示唆された。第4章では、視覚的不快や身体動揺の基礎研究とその臨床心理学・デザイン学への応用について、本研究の貢献や今後の展望を議論する。

略語

HMD: ヘッドマウントディスプレイ

1. 序論

1. 1. 視覚的不快と光過敏性

コンピュータやスマートフォンを長時間観察した後の疲労や眼痛は、高度情報化を遂げた現代では日常的に体験される。不意に自動車のヘッドライトを直視した際のまぶしさ・眼痛や、映像における強烈な色彩・光から不快を体験することもあるだろう。

ストレスは、心身の適応能力に課せられる要求およびその要求によって惹起される心身の緊張状態を指すが (Selye, 1956), 上記の例は視覚を介して生起する心身への負担・緊張状態すなわち視覚を介したストレスと言える。これを視覚的ストレスと呼び、視覚刺激によって誘発される視覚的不快・視知覚の歪み・疲労の総称と定義されてきた (Wilkins, 1995)。その中でも視覚的不快は照明光・点滅光・テレビ・複雑な構成の幾何学的パターンなどの生活環境内の多様な視覚刺激から誘発され (Kasteleijn-Nolst Trenité et al., 2004), 主観評定によって測ることのできる不快・嫌悪感である (Marcus & Soso, 1989)。また映画や携帯型ゲームなどの三次元映像に応用される両眼立体視も、輻輳と水晶体調節の不整合により視覚的不快や眼精疲労、頭痛などを誘発する (Lambooij et al., 2009; O'Hare et al., 2013)。悲惨な情景を見たときの恐怖・嫌悪のように、概念的特性が生じさせる不快もあるが、一連の先行研究と同様に (日比野, 2000; Wilkins, 1995), 本研究では視覚刺激の物理特性に由来する視覚的不快に限る。

同じ視覚刺激から誘発される視覚的不快には個人差があることも知られており、その原因の一つに光過敏性が挙げられる。光過敏性は、視覚刺激によって大脳皮質が過興奮を起こしやすい視覚特性であり、それが起因して視覚的不快を増大させる (Kasteleijn-Nolst Trenité et al., 2001; Wilkins et al., 1979)。さらに光過敏性に起因しててんかん発作 (Chatrian et al., 1970) や片頭痛 (Harle et al., 2006; Wilkins, 1995) を誘発したりする。てんかんは、てんかん波という大脳ニューロンの突発的発射に由来したけいれんや意識減損などの発作が特徴の慢性疾患である (Gloor & Fariello, 1988)。

視覚刺激の時間的・空間的特性がヒトの視覚系に過度の負荷を与えるような場合、視覚刺激は顕著に視覚的不快を誘発すると考えられている (Wilkins, 1995)。過剰な時間的特性を持つ視覚刺激として、高周波数の点滅光や蛍光灯・ブラウン管テレビのフリッカが挙げられる (Stefansson et al., 1977)。こうした視覚刺激が引き起こした 1997 年の日本におけるポケモン事件では、テレビアニメ『ポケットモンスター』の劇中の赤と青の高周波数点滅光の視聴後

に、児童を中心とした 685 名がけいれん・嘔吐・眼痛などの発作を起こした (Ishida et al., 1998). 問題のアニメーションの点滅光の周波数は約 12 Hz だった (Takahashi & Tsukahara, 1998). なお光過敏性てんかん患者では 16 Hz の点滅が発作を誘発しやすく (Harding, 1998), 片頭痛患者では 10 Hz の点滅が視覚的不快を誘発しやすい (Wilkinson et al., 2008).

過剰な空間的特性を持つ視覚刺激として、高コントラストの幾何学的パターンや極彩色を多用した視覚デザインなどが挙げられる。たとえば 1971 年には複雑な構成の抽象画を展示するイギリスの美術館において警備員が頭痛を訴えたり、2005 年にイギリスの病院に飾られた絵画によって職員が頭痛にかかったりしたことがある (Fernandez & Wilkins, 2008). こうした空間的特性に由来した視覚的不快は、光過敏性に照らし合わせながら 70 年代から今日に至るまで検討が続いている (Chatrian et al., 1970; O'Hare & Hibbard, 2015; Penacchio & Wilkins, 2015; Wilkins, 1995). その意義はいくつかある。まずは、コントラスト感度や初期視覚野の神経応答などを含んだヒト視覚の低次空間情報処理メカニズムの理解に貢献する。また、光過敏性を有する片頭痛患者などの臨床群の知覚特性の理解およびその臨床応用に貢献する。そして、視覚的不快を誘発しうる生活環境内の視覚刺激を探索することで、環境デザインの指針となるような基礎的知見を集積することに貢献する。

1.2. 幾何学的パターンが誘発する視覚的不快

視覚的不快の研究を含む視覚研究では、格子模様やガボールパッチといった幾何学的パターンが、統制のとりやすい視覚刺激として援用されてきた。幾何学的パターンは、学術研究だけでなくデザイン・装飾・芸術にも応用されており、建築物・衣服・広告媒体など身の回りに頻繁に存在する (図 1). また幾何学的パターンの誘発する動きや色の錯視を利用した実験的芸術 Op Art にも応用され、Josef Albers や Bridget Riley が代表的な芸術家として挙げられる (Parola, 1996). こうした生活環境内の幾何学的パターンは、審美性の実現など私たちに快感情を与えるために応用されることが多い。



図 1. 生活環境内の幾何学的パターン

しかし幾何学的パターンは我々に快感情を与えるだけではない。特定の空間的特性を持つ視覚刺激は視覚的不快や疲労を誘発することがあり、たとえば空間周波数 3 cycles/degree の幾何学的パターンは顕著な不快感を誘発しやすい (Marcus & Soso, 1989; Wilkins et al., 1984). 空間周波数は、視野の一定方向に沿って輝度が周期的に変化するような場合などに、ある空間内にどれだけ明暗の周期数が含まれるかを指す。たとえば空間周波数が高い縞は密になり、周波数が低い縞は粗くなる。空間周波数の単位としては、視角 1 度内の明暗の周期数や cycles/degree や 1 画像中の周期数を指す cycles/image や 1 顔画像中の周期数を指す cycles/face などが、刺激特性が記述される文脈に応じて採用される。

ヒト視覚の感度は空間周波数に沿ってチューニングされている。二領域の輝度の相違、たとえば白黒の縞を知覚できるための最小の輝度コントラストはコントラスト閾値と呼ばれ、その逆数をコントラスト感度と呼ぶ。コントラスト感度は空間周波数の関数に表される (Robson, 1966). コントラスト感度は空間周波数 2-3 cycles/degree で最も高く (Campbell & Robson, 1968), それゆえにこの程度の空間周波数の格子模様が顕著に不快を誘発しやすい (Wilkins, 1995). 他にも幾何学的パターンの縞の傾き (Soso et al., 1980), パターンの大きさ (Wilkins et al., 1984), 色彩 (Haigh et al., 2013), 運動 (Binnie et al., 1985; Haigh et al., 2012) が視覚的不快に及ぼす影響が検討されてきた。さらに幾何学的パターンは光過敏性てんかん患者 (Chatrian et al., 1970; Wilkins, 1995) や片頭痛患者 (Marcus & Soso, 1989; 小山・河村, 2007) に強い不快感やまぶしさを誘発し、発作さえ誘発することがある (Harle et al., 2006).

縞模様などの幾何学的パターンと同様に、文字も視覚的不快や頭痛発作を誘発する (Wilkins, 2003; Wilkins et al., 2004). 特に白背景上の黒文字は高コントラストであり幾何学的パターンと同様の空間的特性を持つ。そのため光過敏性を有する者にとって視覚的不快を与

えやすい視覚刺激だと考えられる。文字の空間的布置を解析した検討では、縦方向の格子状の要素が文字列に多く内包される場合に (e.g., *mum*, *morrow*), 幾何学的パターンと同様の機序で視覚的不快が誘発されやすいことや、不快の誘発に加えて読み速度の低下といった行動成績の低下も認められることが示されている (Wilkins et al., 2007)。文字と背景のコントラストが一因であるため、半透明のカラーフィルタを誌面に重ねることで、コントラストを下げたり使用者によって異なる過敏な波長光を遮断できたりするため、視覚的不快の軽減や読みの改善が可能であることも示唆されており (Imaizumi et al., 2016; Irlen, 1991; Wilkins, 2003), 視覚的不快研究の知見を活かした介入が試みられている。

上述のように片頭痛患者や光過敏性てんかん患者などの光過敏性のある人々は、健常者よりも視覚的不快が誘発されやすい。とりわけ片頭痛患者に関しては、後述するように光過敏性以外の特異な視知覚を有することや、他の感覚モダリティにおける特異性やその視知覚との連合による随伴症状を呈することが知られており、数多くの研究者が片頭痛における知覚特性の解明に取り組んできた。特に片頭痛患者の視覚特性は申請者の研究の主題である。そこで次節では、幾何学的パターンから視覚的不快やまぶしさを感じる機序について視覚系の構造とともに概説する。

1. 3. 視覚的不快やまぶしさの機序

幾何学的パターンが視覚的不快やまぶしさを誘発する機序は、輝度それ自体ではなくコントラストにある (Koyama & Kawamura, 2007; Wilkins, 1995)。ここでのコントラストは、輝度が最大になる領域の輝度を L_{\max} , 最小の輝度を L_{\min} として $M = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$ という式が与えるマイケルソンコントラスト (M) を指す (Kukkonen et al., 1993)。コントラストに反応してまぶしさや不快を感じる機序は視覚系の働きにある。視覚系はコントラストを検知する働きを持つが、この働きは網膜から大脳皮質にかけて段階的に処理される。

まずヒトの視覚系の構造を概説する (Brown & Wald, 1964)。視覚刺激の信号は網膜に入力する。網膜の視細胞が光を電気信号に変換して、神経節細胞に伝送する。神経節細胞で活動電位が生じて網膜を出てゆき、視神経・外側膝状体を経たのちに後頭葉にある第一次視覚野に至る。網膜の視細胞は主に錐体と桿体で大別される。明所で働き色および輝度情報を受容する錐体は、短・中・長波長域それぞれに感度のピークを持つ三種があり、網膜中心に分布する。桿体は暗所で働き輝度情報を受容し、網膜周辺に分布する。視細胞は吸収する光のエ

エネルギー量に応答するが、神経節細胞はエネルギーの空間的变化、たとえばコントラストに応答する (Enroth-Cugell & Robson, 1966). 特に輪郭線のコントラストを高め、網膜像を明瞭にする働きがある.

神経節細胞において、視覚刺激が個々の細胞に反応を誘発できる視野範囲をその細胞の受容野と呼ぶ. 神経節細胞の受容野は、オン中心型とオフ中心型の受容野がある (Kuffler, 1953). オン中心型受容野では光刺激が中心部に伝わると興奮し (オン反応), 周辺部に伝わると抑制されるが、刺激が消えると一過性の興奮を示す (オフ反応). オフ中心型受容野ではオン中心型受容野と逆の反応を示す. 一方で受容野全体を覆う光に対してはオン反応もオフ反応も生じない. これは中心部が興奮すると同時に周辺部を抑制し、周辺部もまた興奮しつつ中心部を抑制する拮抗的な働きによる. このため網膜像を明瞭にすることができる.

明暗の境界においてコントラストを強調するオン中心型受容野の働きを概説する. 明るい光が投影される受容野では、興奮性入力とともに抑制性入力を受け、中等度の興奮をしている. 境界に近く明るい領域にある受容野は、抑制性の入力が半分欠けており相対的に興奮が強い一方で、境界に近く暗い領域にある受容野は明るい部分からの抑制性入力のみ受けるため (図 2), 他の暗い部分に比べて興奮が弱い. したがって明暗の境界では明るい領域がより明るく、暗い領域がより暗く見えるように処理され、コントラストが強調される. この受容野の拮抗性で説明される錯視に Mach の帯がある (図 3). 高輝度領域と低輝度領域の境界に、高輝度領域側には低輝度の帯が、低輝度領域には高輝度の帯が知覚される現象である (Fiorentini, 1972). またオン中心型受容野の特性によって Hermann の格子 (図 4) も説明できる. 格子の交点部分が暗く見えるのは、上方の受容野よりも下方の受容野のほうがオフ領域への光刺激が増え、下方の受容野がより抑制されるためである (Spillmann & Levine, 1971).

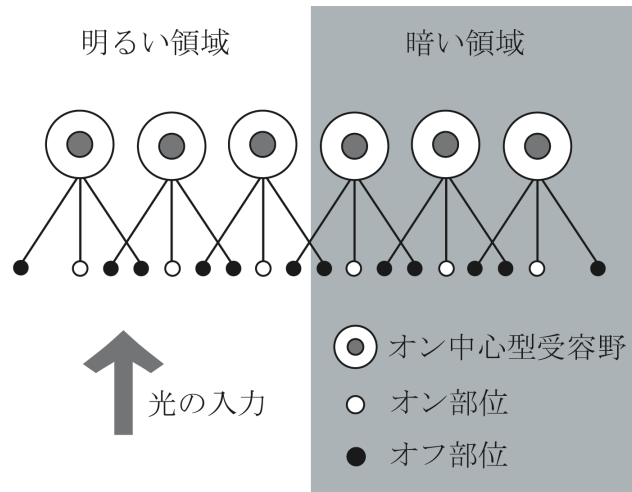


図 2. オン中心型受容野を例にしたコントラスト強調モデル



図 3. Mach の帯. Brown and Mueller (1965) をもとに作成

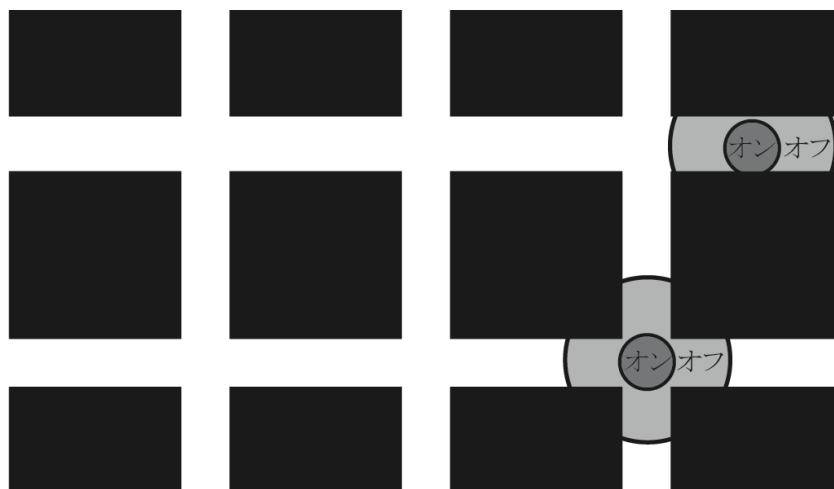


図 4. Hermann の格子. Brown and Mueller (1965) をもとに作成

網膜神経節細胞を経て視神経から送られた信号は、外側膝状体を通り大脳皮質の後頭葉にある第一次視覚野に向かう。第一次視覚野の細胞は、細長い光パターンが特定の方位をもって神経節細胞上の受容野に呈示されたとき、または受容野を横切って動いたときに強く反応する。この性質を方位選択性と呼ぶ (Nelson & Frost, 1978; Wilson et al., 1983)。方位選択性により、様々な方位の輪郭線のコントラストに応答する。

方位選択性を持つ第一次視覚野の細胞は大脳皮質に垂直な柱状構造を形成し、コラム構造と呼ばれる (Hubel & Wiesel, 1969, 1972)。一つのコラムは層状になっており、種々の細胞が層を構成する。これらの細胞は単純型細胞と複雑型細胞に水平方向に分かれ、また左右それぞれの眼からの入力に対して選択的に応答するように垂直方向に領域が分割されている。単純型細胞は線状の光に対する方位選択性を持ち、光を呈示したときに興奮するオン領域と光を消したときに興奮するオフ領域に分かれ、互いに拮抗する。両領域にまたがる光を呈示すると反応しない。一方で複雑型細胞は、単純型細胞に比べて大きい受容野を持つがオン・オフ領域を持たず、細長い光に対して方位が最適なら受容野内のどこに呈示されても興奮する。

白色平面に低輝度の黒色縞が加わることで幾何学的パターンを形成するが、白色平面より輝度は低いのにコントラストの強い縞の輪郭部分にまぶしさや不快を感じてしまう。この機序として、神経節細胞の受容野におけるオン・オフ反応が細かい縞の知覚を強調し、それによる視覚野の過興奮がまぶしさや不快感などの視覚的不快を誘発すると考えられる。また、視覚的不快を誘発するような刺激を観察している際の視覚野の脳血流量の増大から (Huang et al., 2003)、血流量の増大という異常な代謝状態を解消しようとする適応的な反応として視覚的不快が惹起されるという説が近年提案されている (Haigh et al., 2013; Hibbard & O'Hare, 2015; Wilkins & Hibbard, 2014)。

片頭痛患者の視覚野における過興奮性が幾何学的パターンへの過敏をはじめとした光過敏性を説明すると考えられているが (Aurora & Wilkinson, 2007; Chronicle et al., 2006; Wilkins et al., 2004)、片頭痛患者における視覚野への経頭蓋磁気刺激法による顕著な眼内閃光の誘発や (Aurora et al., 1998)、幾何学的パターンの観察による視覚野の賦活の増大がこれを支持している (Haigh et al., 2012; Huang et al., 2003)。したがって片頭痛患者の視覚野の過興奮性によって、高コントラストの輪郭に健常者よりも過敏に反応してまぶしさを知覚すると考えられる。そしてパターンが細分されるとそれだけ輪郭の量も増大するため、まぶしさや不快感も増大すると考えられる。またストライプだけでなく同心円状の幾何学的パターンも視覚的不快を

誘発することから (伊藤, 1999; Wilkins, 1995), 第一次視覚野における方位選択性は様々な形状の幾何学的パターンが視覚野の過興奮を誘発しうることを示唆しており, 縞の方位によって視覚的不快の誘発に個人差がある (Soso et al., 1980). 空間周波数によってコントラスト感度は変化するが, 空間周波数により誘発される視覚的不快も増減する (Conlon et al., 2001; Wilkins, 1995; Wilkins et al., 1984). これはヒトの視覚系には特定の空間周波数に選択的に応答する複数のチャンネルが存在する (Campbell & Robson, 1968) ためだと考えられる.

1. 4. 片頭痛

1. 4. 1. 頭痛の分類

国際的に用いられている頭痛診断基準 International Classification of Headache Disorders, 2nd edition (Headache Classification Subcommittee of the International Headache Society, 2004) を日本頭痛学会新国際頭痛分類普及委員会 (2004) が邦訳した国際頭痛分類第二版は, 頭痛を一次性頭痛・二次性頭痛・顔面痛・神経痛に分類している. 一次性頭痛は慢性頭痛とも呼ばれ, 片頭痛・緊張型頭痛・群発頭痛が代表的である. 二次性頭痛は, 症候性頭痛や続発性頭痛とも呼ばれ, 組織や細胞の変異による疾患に起因する. 国際頭痛分類の信頼性は2名の神経内科医の診断結果の一致度から検討されている (Leone et al., 1994). 部分的にはあるが, 片頭痛の診断基準に関して妥当性が明示的に確認された報告がある (Merikangas et al., 1994). 近年では国際頭痛分類第三版ベータが公開されたが (Olesen, 2013), 公開が本研究開始以後だったことやベータ版であることから本研究はすべて第二版に準拠した.

まず片頭痛以外の一次性頭痛を概説し, 二次性頭痛などは割愛する. 緊張型頭痛は一般集団の 30-70 %が経験する頭痛であり, 慢性頭痛の中で最も多い (日本頭痛学会新国際頭痛分類普及委員会, 2004). 頭部を圧迫されたり締められたりするような痛みが数時間以上続く. まず緊張やストレスが交感神経を興奮させ頭部の筋が収縮し, その後に収縮状態が続くと筋の酸素が欠乏し, 発痛物質が放出され頭痛が起きる. 緊張型頭痛の痛みによるストレスから片頭痛を併発する場合もある. 群発頭痛は片側の眼の奥がえぐられるような激痛が1時間ほど持続する (日本頭痛学会新国際頭痛分類普及委員会, 2004). 涙・充血・鼻汁といった自律神経症状がともなうが, 発作時に頸動脈の周囲の交感神経の機能が低下し, 副交感神経が活発になることで起こる. 発作間は頭痛が消え, 様々な頻度で群発して発作が起きる. 有病率は 0.07-0.09%である.

1. 4. 2. 片頭痛の特徴

片頭痛は頭部の片側が脈打つように痛むのが特徴の一次性頭痛である。頭痛発作は、おおむね数時間から半日間、長くとも 1-2 日間ほど持続する。こめかみ・眼の奥・額が痛むのが一般的だが、個人内で一定するわけではない。痛みは耐えがたく、日常生活に支障が出ることもある。階段の昇降や、重い物を持つなどの日常的動作で痛みが増大する (日本頭痛学会新国際頭痛分類普及委員会, 2004)。

片頭痛発作の随伴症状として、光を過剰にまぶしく感じ、音や匂いに対しても過敏になること、70-80%の患者に悪心や嘔吐をとともなうことが知られている。また最近では、短波長光に選択的に応答する S 錐体に異常があり、第三色覚異常様の視覚特性を呈することも示唆されている (Shepherd, 2006a; Tibber & Shepherd, 2006)。

片頭痛発作の誘因は、縞模様や点滅光などの視覚刺激だけでなく、聴覚刺激 (Vingen et al., 1998)、チョコレートやチーズ等の食物、アルコール、ストレスも含む (Millichap & Yee, 2003; Peatfield, 1995; Peatfield et al., 1984)。

1. 4. 3. 片頭痛の社会への影響

日本における片頭痛の有病率は 15 歳以上の 8.4%という調査結果があるが、そのうちの 78 %は女性であり、また男女ともに 20-50 代の働き盛りに多い (Sakai & Igarashi, 1997)。しかしアメリカでは成人の約 11.7% (Lipton et al., 2007)、ブラジルでは成人の約 15.2%が有病しており (Queiroz et al., 2009)、調査地域によって有病率が異なる。各国で実施された疫学的調査からメタ分析をおこない、とりわけ北アメリカ・南アメリカ・ヨーロッパで有病率が高いことが示されている (Scher et al., 1999)。患者の 40.4 %は家族内にも同様の頭痛があることから片頭痛は遺伝性が強いことが示唆されており (Sakai & Igarashi, 1997)、民族や地域によって有病率が異なることは説明されやすい (Lipton & Bigal, 2005)。

片頭痛の有病には、その痛みの強度や頻度に個人差はあるものの、著しく生活の質を下げたり (Terwindt et al., 2000)、不安や抑うつ傾向を高めることが知られている (Lanteri-Minet et al., 2005; Merikangas et al., 1990)。こうした片頭痛による個人単位の生活の不便の集積として、国単位の経済的な影響に発展する。たとえばアメリカにおける調査によれば (Hu et al., 1999)、片頭痛患者の男性は年間 3.8 日間、女性は 5.6 日間発作のために寝込み、これによる労働力の損失が約 130 億アメリカドルにのぼり、社会や経済への影響が強い疾患であること

が示唆される。しかし片頭痛患者のうち日常生活に支障があるほど痛みの程度が強いと回答した者は 74 %という一方で、仕事など社会生活に支障を来していると回答した者は 32 %だという。この結果から、片頭痛発作に悩まされながら社会生活を犠牲にしないよう忍耐を強いられていることも示唆される。現在は発作を抑える多様な医薬品や心理療法が開発され、日常生活への悪影響を抑えることが容易になりつつあるが (Sakai, 2008)、日常生活に少なからぬ困難を抱える者が未だに多数いることは容易に想像される。

1.4.4. 片頭痛の前兆症状

前兆症状の有無により片頭痛は二つに分類される。片頭痛患者の 20 %は前兆症状があり、前兆は頭痛発作に先行し、多くは一過性で 60 分以内に消え、その後 60 分以内に頭痛が現れる (Lauritzen, 1994)。しかし前兆のみで頭痛発作をともしない片頭痛もあり、普段は前兆をともしない患者であっても毎回ともなうとは限らない。国際頭痛分類第二版によれば (日本頭痛学会新国際頭痛分類普及委員会, 2004)、最も代表的な前兆症状は視覚性前兆であり、きらめく点や線が視野内に映る閃輝暗点という陽性症状や、単なる暗点が映る陰性症状がある。次に頻度が高いものが感覚障害と呼ばれる体性感覚症状であり、身体や顔面にチクチク感が生じて波及する陽性症状と、感覚鈍麻の陰性症状がある。頻度はより低い、失語性の言語障害が陰性症状として現れる場合もある。

前兆の多くは視覚性症状であり、視界に現れる閃輝暗点が最も多い (図 5)。閃輝暗点は、視野の中心付近がぼやけ始め、きらめく光で縁どられたノコギリ歯状の形が現れ、左右に拡大していき、暗点の周辺が見えなくなる現象である (Olsen, 1990)。視覚野の興奮が後頭葉で突如発生して徐々に前方へ伝播し、この伝播が閃輝暗点など視覚性前兆の発生・伝播を知覚させると指摘された (Leo, 1944)。後に脳機能画像法によりこの興奮の発生と伝播が観測された (Hadjikhani et al., 2001)。視覚性前兆の有無は片頭痛患者の知覚特性に影響しないと考えられている。たとえば片頭痛患者の視覚刺激への不快感 (Cucchiara et al., 2015) と視覚野の過興奮性 (Mulleners et al., 2001) に視覚性前兆の有無は影響せず、視覚野以前の視覚過程でも時空間的処理に視覚性前兆の有無の影響はない (Coleston et al., 1994)。



図 5. 閃輝暗点の例. Tehom (2008) より転載

1. 4. 5. 片頭痛の機序

片頭痛発作や視覚性前兆の機序について三つの説を概説するが、包括的に矛盾なく説明できる説はまだない (Noseda & Burstein, 2013; Pietrobon & Moskowitz, 2013).

まずセロトニン説を概説する (Anthony et al., 1967; Izzati-Zade, 2008). セロトニンは、トリプトファンという必須アミノ酸から生成される物質であり、視床下部や脊髄で神経伝達物質として働く。血液中ではホルモンとして血管や腸管の働きを調節し、この場合は腸壁内の細胞で産生される。血中のセロトニンは大部分が血小板に含まれるが、何らかのきっかけでセロトニンが血小板から放出される。そのセロトニンは連鎖的に血小板のセロトニン放出を促進する。その結果、血中セロトニン濃度が急上昇し、頭蓋内外の動脈が収縮する。この収縮による一過性の脳虚血が前兆症状を引き起こす。その後セロトニンは代謝されて尿中に排泄され、血中セロトニン濃度が急速に低下する。そして頭蓋内外の動脈が拡張され、動脈に分布する痛覚神経が刺激されて拍動性の痛みが起きる。血管収縮薬が片頭痛に有効であることがこの機序を説明する。しかし頭痛の片側性や前兆のない片頭痛は説明できない。

次に神経説では、片頭痛発作の原因は脳神経細胞活動の変化の結果とする (Aurora & Welch, 2000). 片頭痛発作時に後頭葉から脳血流低下が開始し、毎分 2-3 mm で前方に拡大していき、脳血流低下は 30-60 分間持続する (Olesen et al., 1981). しかし血流低下時から頭痛が開始していることから、脳血流変化が片頭痛の原因ではないと考えられた (Olesen et al., 1990). 大脳皮質を刺激すると、その部位から神経活動の抑制すなわち脳電位が低下し始め、毎分 2-5 mm で周辺皮質に拡散する『拡張性抑制』という現象が動物実験で示されている (Leo, 1944). Lashley (1941) は自らの閃輝暗点を観察し、異常興奮波が視覚野を移動するの

は毎分 3 mm と推定したが、この値は拡張性抑制の速度と一致し、拡張性抑制と視覚性前兆の進展との類似が指摘された (Milner, 1958)。神経説では拡張性抑制を視覚性前兆の原因とし、後頭葉の脳血流低下の拡大はあくまで拡張性抑制の結果とする (Dalkara et al., 2010; Lauritzen, 1994)。しかしこの説は前兆症状のうち視覚性のものが多いことを説明するが、片頭痛発作の機序それ自体を十分には説明しない。

最後に三叉神経血管説を概説する (Moskowitz et al., 1993; Stankewitz et al., 2011)。三叉神経は、顔面の皮膚・硬膜・頭蓋内大血管・歯・口腔鼻腔粘膜に分布する感覚神経である。三叉神経は、主に眼球など視覚を支配する眼神経、鼻腔など顔面上部を支配する上顎神経、舌神経など顔面下部を支配する下顎神経の三つに分かれており、視・嗅・味感覚器からの入力を脳に伝える (図 6)。脊髄を包む硬膜の血管に三叉神経を構成する神経線維が分布している。この神経線維が刺激されると、神経線維瘤から放出される化学物質が血管壁に作用して神経原生炎症を起こす。神経原生炎症は三叉神経を刺激し、痛覚路を介して頭痛を起こす伝導と、神経原生炎症を拡大する伝導が起こる。その誘因として拡張性抑制が有力だが、機序はまだ十分に解明されていない。

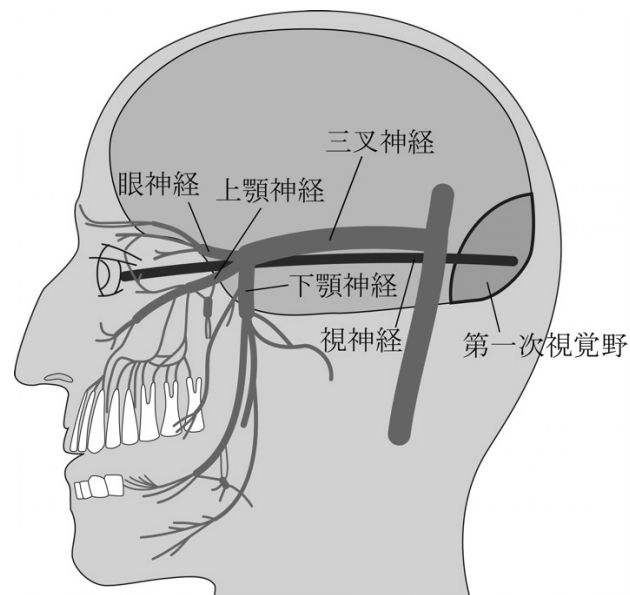


図 6. 三叉神経と視覚系

1. 4. 6. 片頭痛の視覚特性

片頭痛の機序を矛盾なく説明する説はまだないが、視覚性前兆をともなう片頭痛の症例検討から、光刺激が片頭痛発作を誘発するという因果関係が示唆されている (小山・河村,

2007). この症例は 30 代から頻繁に片頭痛発作が生じていたが, 60 歳頃に白内障を患ってから頭痛も視覚性前兆も発症しなくなった. しかし 72 歳で白内障の治療をして以来, ほぼ毎日の頻度で頭痛と視覚性前兆が再発した. 症例に, 格子模様を刺激としてまぶしさの主観評定をする光過敏性検査をおこなうと, 顕著な光過敏性を示した. しかし茶色の偏光サングラスを着用して同様の検査をおこなうと光過敏は緩和された. そこで日常生活でも偏光サングラスの着用を依頼し, 8 ヶ月後に再検査したところ, 光過敏性は軽減していた. 白内障の発症によって片頭痛が消失し治療後に再発したことから, 偏光サングラスの継続着用により光過敏性が軽減したことから, 光や幾何学的パターンといった視覚刺激が片頭痛発作の誘因になることが示唆された. これを支持する倉島 (2008) は, 偏光サングラスによる幾何学的パターンや文字の見やすさへの影響について片頭痛患者群と健常群を比べて, 片頭痛患者が可視光線透過率の低い暗色偏光レンズを選好することを示した. さらに近年, 面接と質問紙に基づく検討によって, 加齢性白内障の快癒後に視覚的不快の増大や光過敏性様の症状が生じることも示唆されている (Chen et al., 2014). 上述の三叉神経血管説により, 視覚刺激による片頭痛発作の誘発が説明できると考えた. 図 6 より三叉神経は視神経と隣接して後頭部にある大脳皮質第一次視覚野に達している (Rohkamm, 2004). 視覚刺激により第一次視覚野が過興奮し, 二次的にその興奮が三叉神経を刺激して片頭痛発作の誘因になる.

片頭痛患者の視知覚については, 視覚的不快だけでなく低次視覚処理も含めた近年の総説が詳しい (O'Hare & Hibbard, 2015). 片頭痛患者においては, 高コントラスト (e.g., 白黒) の格子模様が不快やまぶしさを感じさせやすいことが知られていたが (Marcus & Soso, 1989), 近年, 視覚的不快についての知見が蓄積されてきている. 空間周波数 2 cycles/degree (Haigh et al., 2012) や 3 cycles/degree (Harle et al., 2006) の格子模様が, 健常者に比べると片頭痛患者において顕著に視覚的不快を増大させる. また空間周波数 1.2 cycles/degree の格子模様が視知覚の歪みや眩しさを誘発しやすい (Huang et al., 2011). 研究間の知見にばらつきがあるものの, 視覚的不快に関わる空間周波数特性は中低域にピークがあることがうかがえる. これは健常者研究の知見 (Fernandez & Wilkins, 2008; Juricevic et al., 2010; O'Hare & Hibbard, 2011) とも整合するので, 視覚的不快に寄与する空間周波数の帯域には片頭痛患者の特異性はないと思われる.

他方で片頭痛患者におけるコントラスト感度の低下が指摘されている. 空間周波数 2 cycles/degree (Haigh et al., 2012), 4 cycles/degree (Shepherd, 2000; Shepherd et al., 2013), 3

cycles/degree 以下の低域 (Benedek et al., 2002), 1.5-18 cycles/degree (Yenice et al., 2007), 3 cycles/degree 以外の広帯域 (Mendes et al., 2011) のコントラスト感度が低下するというが, 研究間で知見が拮抗しており, 特定の空間周波数帯域を結論づけるには慎重を要する.

眼球運動については検討が少ない上に意見が分かれており, 今後の研究の進展が待たれる状況にある. 運動する視対象を低速で追うような追従性眼球運動については, 片頭痛患者と健常者に差異がないと報告されている一方で (Wilkinson et al., 2006), 片頭痛患者における追従性眼球運動の位相切り替えの異常も報告されている (Wieser et al., 2004). 注視位置を移す際の高速かつ跳躍的な眼球運動であるサッカードについては, 片頭痛患者の特異性はないとされる一方で (Wieser et al., 2004; Wilkinson et al., 2006), サッカードの加速・減速制御に異常があるという報告もある (Cambron et al., 2011; Harno et al., 2003). 注視し続ける際に不随意に生じる微細な眼球運動である固視微動については, 片頭痛患者の特異性はないという報告がある (Wilkinson et al., 2006).

1. 4. 7. 片頭痛の視覚-前庭連合

1. 4. 7. 1. 片頭痛の前庭症状

片頭痛患者はめまいや乗り物酔い (動揺病) などの前庭症状をとめないやすい (Cutrer & Baloh, 1992; Marcus et al., 2005). 原因の一つとして片頭痛とめまいの生理的機序の重複が指摘されており (Maione, 2006; Reploeg & Goebel, 2002), 片頭痛関連めまいとして通常めまいと区別される (Headache Classification Subcommittee of the International Headache Society, 2004). 実際に, 約 30%の片頭痛患者がめまいを訴えることや (Bayazit et al., 2001), めまい外来の 8.3%が片頭痛関連めまいだったことが報告されている (Goto et al., 2013). 片頭痛関連めまいでは, 温度眼振検査などの前庭機能検査でも異常が認められる (Marcus et al., 2003).

動揺病は片頭痛にともなう前庭症状の中で最も多く, 片頭痛患者の 54%に認められる (Kayan & Hood, 1984). 約 30-40%の片頭痛患者が乗用車や遊園地の乗り物で運動や移動した後に動揺病を訴えることや, 約 20-30%の片頭痛患者が広視野範囲の運転シミュレータやテレビゲームを観察した後に動揺病を訴えることが報告されている (Drummond, 2005). 動揺病の基本的な機序は視覚・自己受容感覚・前庭感覚入力の不一致と言われており (Golding & Gresty, 2005; Reason & Brand, 1975; Yates et al., 1998), 特に片頭痛患者における視覚-前庭連合の特異性が示唆される (Cuomo-Granston & Drummond, 2010; Marcus et al., 2005).

1. 4. 7. 2. 片頭痛の視覚-前庭連合と姿勢制御

視覚-前庭連合の検討手法の一つに姿勢制御の測定がある。ヒトは姿勢制御を前庭機能だけでなく視覚にも依存するため (Bles et al., 1977), たとえば目を閉じると身体の揺れ (身体重心の動揺) が増す。開眼状態の重心動揺により姿勢制御能力を、開眼・閉眼状態の重心動揺の比により姿勢制御の視覚依存度を検討したりする。

現状、片頭痛患者の視覚-前庭連合を検討した例は少ないうえに開眼・閉眼状態の重心動揺の比較検討しかなされていない (Carvalho et al., 2013; Ishizaki et al., 2002; Teggi et al., 2009). これまで述べたように、皮質過興奮に由来する片頭痛患者の光過敏性が (Haigh et al., 2012; Huang et al., 2011), 視覚刺激に対する過度の不快や (Marcus & Soso, 1989), 運動錯視様の知覚の歪みをもたらす (Huang et al., 2003; Imaizumi et al., 2011). これを踏まえると、片頭痛患者が視覚刺激を観察している際に、健常者には認められない重心動揺への影響が予想される。

運動視覚刺激や (Morrone et al., 2000; Zeki et al., 1991), 静止刺激が動いて知覚される運動錯視 (Ashida et al., 2012; Kuriki et al., 2008) によって第五次視覚野が賦活する。第五次視覚野は前庭入力进行处理する脳領域の近傍にあり、実際に特定の運動刺激が第五次視覚野 (Slobounov et al., 2006) と前庭皮質 (Smith et al., 2012) の双方を賦活させることが知られている。こうした皮質間の連絡から、動的な視覚刺激が視覚-前庭連合に影響しやすいことが予想される。片頭痛患者ではとりわけ幾何学的パターンから知覚される運動錯視が強いことが示唆されている (Huang et al., 2003; Imaizumi et al., 2011). したがって健常者ですら生じる幾何学的パターン誘発性の動揺病様症状 (Bonato et al., 2011) が、片頭痛患者では顕著である可能性がある。以上のことから推測される片頭痛の視覚-前庭連合の特異性を解明するために、運動錯視をおこす視覚刺激と姿勢制御の関連を調べていく必要がある。

1. 5. 視覚的不快に関する問題意識と介入

特定の波長光を遮断して読字を改善するカラーフィルタだけでなく、着色偏光サングラスが片頭痛発作 (Wilkins et al., 2002) や光過敏性てんかん発作 (Kepecs et al., 2004) の頻度および視覚的不快を軽減する。これらは光過敏性に配慮したデザインであると言えるが、生活環境内に存在する視覚刺激がすでに光過敏性に配慮された状態であるようにデザインされることも必要と言える。たとえば幾何学的パターンが不快感を誘発するのであれば、公共空間やメディアのデザインに応用することが好ましくない状況や場所があるはずである。生活環境

内の絵画や装飾，空間デザインに誘発される視覚的不快や身体性症状については過去に各所で問題視されてきた (Fernandez & Wilkins, 2008; Haysom, 2003; Wilkins, 1995; Woolls, 2003).

『アニメーション等の映像手法について』(日本民間放送連盟, 2006) においてテレビアニメにおける点滅光や幾何学的パターンの使用に規制基準を設けた. また『3DC 安全ガイドライン』(3D コンソーシアム, 2010) において三次元映像制作における視差範囲やディスプレイサイズなどに推奨基準が設けられた. 一方で映像メディア以外においては, 視覚刺激の空間的特性に関連した光過敏性や随伴症状に配慮したガイドラインはまだない. デザインの手法を制限することになるとしても, 生活環境やメディアのデザインにおけるガイドラインを策定するなど光過敏性を配慮する視座も必要と言えよう.

申請者は, デザインに関するこうした概念が一般化することを研究動機としてきた. 光過敏性を持つ人々とりわけ片頭痛患者の理解や, 視覚的不快を誘発しやすい刺激の特性の解明のため, 幾何学的パターンの誘発する視覚的不快の定量的評価に取り組んできた (Imaizumi et al., 2011). さらに, 身の回りの風景が誘発する視覚的不快の定量的評価および画像解析を用いた視覚的不快の要因の解明に取り組んできた (Imaizumi et al., 2013).

1. 6. 視覚的不快を誘発する刺激の探索

1. 6. 1. 幾何学的パターンが誘発する視覚的不快：片頭痛患者と健常者の比較

幾何学的パターンが片頭痛患者に強い不快やまぶしさを誘発することが示されてきた (Koyama & Kawamura, 2007; Wilkins, 1995). しかし幾何学的パターンの誘発する視覚的不快を系統的かつ定量的に健常群において検討されていたものの (伊藤, 1999), 片頭痛患者と健常者は比較されていなかった.

そこで Imaizumi et al. (2011) はその比較検討を試みた. 実験には 17 名の片頭痛患者と 38 名の健常者が参加した. 輪郭の明瞭な矩形波パターンか輪郭のぼけた正弦波パターンからなり, 縞の縦分割数を 0, 2, 4, 32 分割の 4 段階に変化させた, 8 種の無彩色格子模様 (空間周波数 0.5 cycles/degree) を刺激とした. 参加者は各刺激を観察して不快感・まぶしさ・疲労・動き・ちらつき・美しさの 6 項目をマグニチュード推定法で評価した. マグニチュード推定法は, ある感覚刺激を標準刺激として, 標準刺激による感覚の強さをたとえば 50 と設定し, 同じ感覚属性の比較刺激を呈示した後に, 比較刺激による感覚の強さを 90 などと自由に評定させる心理物理学的測定法である (Poulton, 1968).

結果を図7に示す。格子模様の縦分割数が大きく、すなわち模様が細くなるにつれ、両群において美しさ以外の5項目が増大した。片頭痛患者群では矩形波パターンに誘発されるまぶしさが顕著に増大した。したがって先行研究 (Koyama & Kawamura, 2007; Wilkins, 1995) と同様に、片頭痛患者が高コントラストな輪郭に敏感であり、まぶしさを知覚しやすいことが確認された。評価項目間の関連については、正弦波パターンが誘発する動きが不快感・疲労を増大させることが示唆された。また興味深いことに、強い不快感を誘発する幾何学的パターンに対して美しさも共起することも示唆された。このように申請者は幾何学的パターンの誘発する視覚的快・不快を測定することで、片頭痛患者の光過敏性の反映として、まぶしさや不快感を刺激から知覚しやすいことを示唆した。

従来の視覚的不快研究では格子模様やガボール刺激などの幾何学的パターンのみを用いていたが、生活環境により即した視覚刺激も研究対象にする必要があった。視覚的不快研究の大きな目的として、光過敏性を持つ少数派の人々の理解や、ヒト視覚の理解、それらの理解にもとづいた社会的な貢献があった。したがって身近な視覚刺激、たとえば芸術や風景などが可能な検討対象として挙げられた。

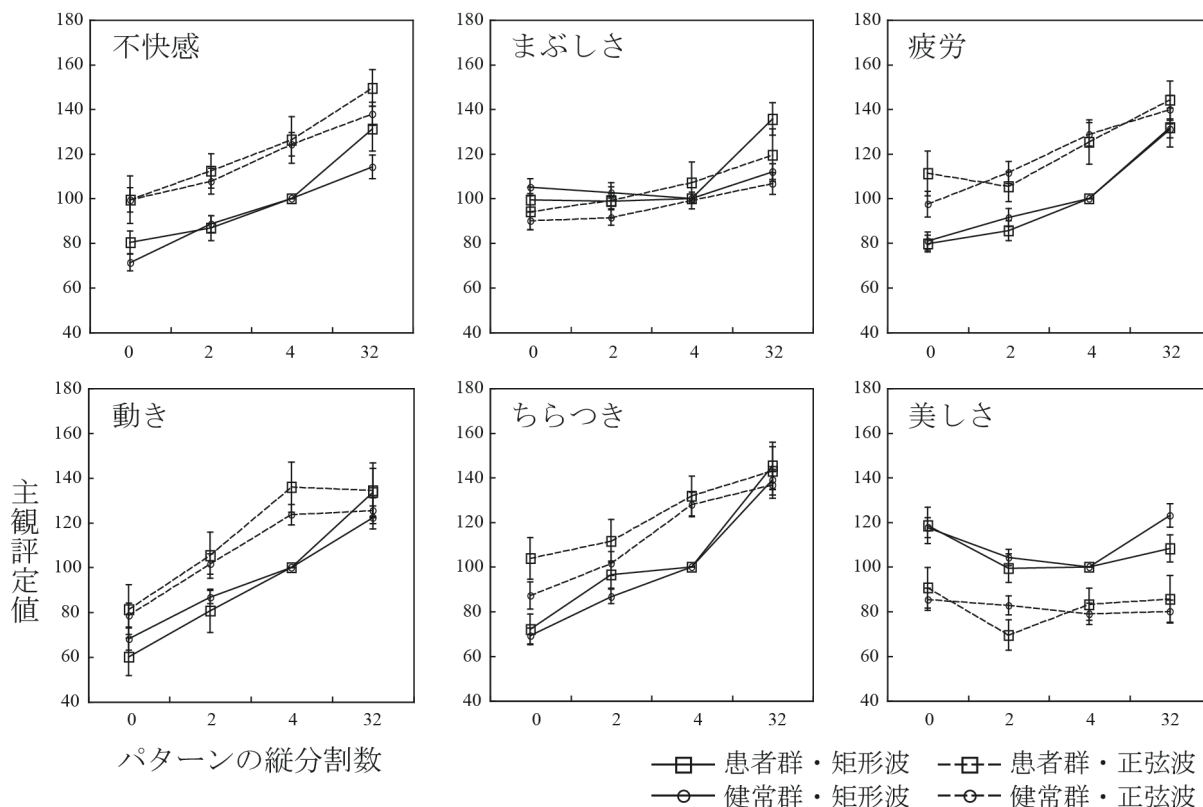


図7. 片頭痛患者群と健常群における幾何学的パターンの評定. 誤差範囲は±1標準誤差を示す. Imaizumi et al. (2011) より改編

1. 6. 2. 抽象絵画が誘発する視覚的不快：空間周波数解析の適用

Fernandez and Wilkins (2008) は、抽象絵画であっても空間周波数の中域成分を多く内包する場合は視覚的不快を誘発すると、健常者実験と画像解析手法を用いて報告した。様々な空間構成を持つ抽象絵画画像を用いて、視覚的不快と芸術的価値の評定実験をおこなった。たとえば Ayles (2006) のような作品が用いられた。その結果、視覚的不快と芸術的価値の評定の間には負の相関関係があり、複雑な空間構成を持つ絵画は不快と評価されやすかった。

この著者らは、不快の原因であるはずの空間構成を、空間周波数の各帯域がどれほど絵画画像に含まれるかを分析することで突き止めた。具体的には、画像内の輝度分布を二次元高速フーリエ変換することで256種の空間周波数の正弦波に分解し、各周波数成分の振幅を算出した。一般に、自然画像を解析すると振幅と空間周波数の関数すなわち空間周波数スペクトルは、回帰直線を添えた場合に直線の傾斜が-1に近似する (Field, 1987; Field & Brady, 1997; Tolhurst et al., 1992)。解析の結果、不快感評定値の高かった絵画画像において空間周波

数 3 cycles/degree を中心とした 1.5-6.0 cycles/degree の振幅が不快感評定の低かった画像よりも大きかった。つまり空間周波数の中域成分が視覚的不快を誘発しやすい絵画画像に相対的に多く内包されていることが示唆された。これは幾何学的パターンを用いて視覚的不快の評定実験をおこなった知見と整合する (Wilkins, 1995; Wilkins et al., 1984)。

O'Hare and Hibbard (2011) はコンピュータが生成するノイズ画像を用いて、視覚的不快に関連する中域成分を人為的に増強させた場合に視覚的不快の評定が増大することを示し、空間周波数中域と尺的不快の因果関係を突き止めた。他方で Juricevic et al. (2010) は、空間周波数特性と視覚的不快の関連について Fernandez and Wilkins (2008) の知見を再現するとともに、赤-緑や青-黄といった色相のコントラストが強い視覚刺激も視覚的不快を増大させることを突き止めている。

幾何学的パターンや絵画が誘発する視覚的不快とその刺激特性については検討されてきたが、より身の回りに存在しやすい動植物や人工物などの『風景』が誘発する視覚的快・不快については検討が進んでいなかった。次節で、画像解析を用いた風景画像の視覚的不快に関する検討を概説する。

1.6.3. 風景画像が誘発する視覚的不快：片頭痛患者と健常者の比較

風景画像に検討対象を広げた経緯を概説する。Ulrich (1984) は、窓から自然風景の見える病室にいる患者が、窓から隣の壁しか見えない病室にいる同じ疾患の患者より回復が早いことを報告した。これは自然風景がヒトに及ぼす効用の研究の先駆けとなった。また窓の外に自然風景があることで窓の反射光から生じる不快感が軽減すること、その風景を好ましく感じる場合に軽減効果が増すことが報告された (Tuaycharoen & Tregenza, 2007)。こうした風景の効用は生理指標を用いて確認されており、森林浴によりストレス指標である唾液コルチゾールや血圧が低下することや (Tsunetsugu et al., 2007)、自然環境下の運動が運動の効果を増強させることが報告されている (Pretty et al., 2005)。

上記の研究から、視覚刺激としての自然風景がヒトに有益な影響を与えることが示唆される一方で、雪原や水面の反射光や木漏れ日が視覚的不快や疲労を誘発するという指摘もあった (Kasteleijn-Nolst Trenité et al., 2004; Wilkins, 1995)。自然風景であろうと光と陰のコントラストやその粗密が、複雑な外観をつくることがあると予想される。自然風景だけでなく人工物風景も含め、その空間的特性によって視覚的不快を誘発することがあると仮説を立てた。

過去に画像空間周波数特性と視覚的不快の関連を調べた研究は健常者のみを対象にされており (Fernandez & Wilkins, 2008; Juricevic et al., 2010; O'Hare & Hibbard, 2011), 片頭痛の光過敏性との関連については未検討だった。片頭痛患者のほうが幾何学的パターンから視覚的不快を受けやすいことをふまえると (e.g., Marcus & Soso, 1989), 風景画像の空間的特性により視覚的不快が誘発されるなら, その効果は片頭痛患者で顕著に現れると仮説を立てた。

1. 6. 3. 1. 風景画像の不快感評定と画像解析

Imaizumi et al. (2013) の実験には片頭痛患者 31 名と健常者 32 名が参加した。参加者は, 輝度と寸法を統一した 25 枚の全彩色風景画像について, 不快感を 7 件法で評定した。その結果, 画像の主効果すなわち画像ごとに評定値が異なることが示されたが, いずれの評定項目についても患者群と健常群の差は認められなかった。片頭痛患者は視覚的不快を誘発する風景画像に健常者よりも顕著に不快を感じるという仮説は支持されなかった。

不快感評定値の下位 5 枚と上位 5 枚をそれぞれ快・不快風景画像として空間周波数スペクトルを分析した (図 8)。その結果, 不快風景画像では 1.9-2.8 cycles/degree の振幅が強いことが示された。これは絵画画像やノイズ画像を用いた従来の知見と一致しており (e.g., Fernandez & Wilkins, 2008), 風景画像も空間周波数の中域の特性により視覚的不快を誘発しうることが示唆された。この知見は自然画像を用いた後続の研究でも再現されており (Penacchio & Wilkins, 2015), 嫌悪感を誘発するような自然物の画像 (e.g., 有毒生物の紋様, 蜂の巣などの円形集合体) においても同様の空間周波数特性が発見されている (Cole & Wilkins, 2013; Le et al., 2015)。

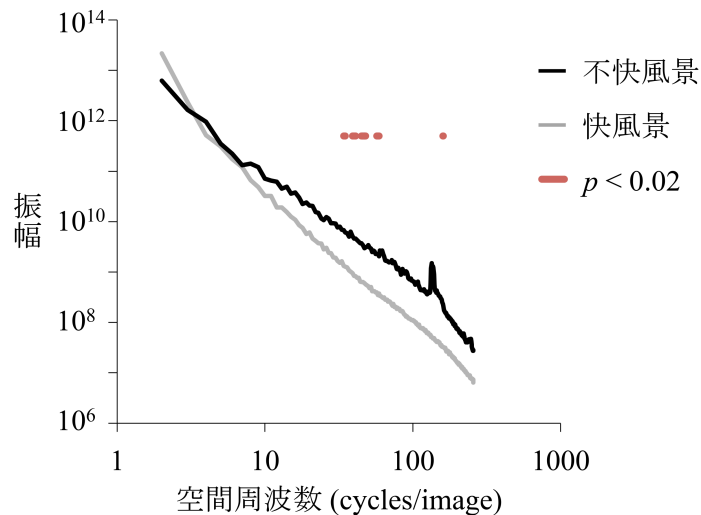


図 8. 快風景画像と不快風景画像の空間周波数スペクトル (対数-対数平面). 二つのスペクトルの振幅に有意差がある空間周波数帯域を水平点線で示す. 興味領域である中域の振幅の差を明示するために有意水準を 0.02 とした

1. 6. 3. 2. 画像加工を用いた風景画像の不快感評定と瞳孔径計測

続いて Imaizumi et al. (2013) は, 空間周波数の中域成分と視覚的不快との関連を詳細に検討するため, 先の実験で用いた快・不快風景画像に対して空間周波数中域成分を削除する加工をして, 元画像と加工画像を刺激とした不快感評定実験を片頭痛患者 4 名と健常者 8 名におこなった. 不快感評定は『1: まったく不快を感じない』から『7: 非常に強い不快を感じる』までの 7 件法でなされた. 加工画像では不快に関連する空間周波数中域成分が削除されているため, 不快感評定値が下がることが予想された.

さらに画像を観察・評定している最中の瞳孔径を計測した. 具体的には刺激呈示開始後 230ms と 700ms の間の瞳孔径が記録された. 瞳孔径の拡張は自律神経活動を反映するため, 快・不快感情状態も反映する (Bradley et al., 2008; Partala & Surakka, 2003; Stanners et al., 1979). たとえば快・不快情動を喚起する画像 (e.g., 乳児のかわいさ, クモへの嫌悪) を観察して快感情が惹起されると散瞳が, 不快感情が惹起されると縮瞳が起こる (Hess, 1965; Hess & Polt, 1960). Imaizumi et al. (2013) の先の実験では, 風景の意味内容の快・不快と, 空間周波数特性による視覚的不快とが交絡していた可能性があった. したがって主観評定だけでは片頭痛の効果を捉えられずに群間の相違が認められなかった可能性があった. そこでこの実験では心理指標と生理指標を用いて再検討した.

不快感評定の結果について (図 9), 元画像で認められた快風景と不快風景の差が, 加工画像では消失した. 空間周波数中域成分が視覚的不快に寄与することを再現した. しかし元画像と加工画像とでは加工画像において不快感評定値が高かったことから, 中域を削除したことにより相対的に低域が強調されてぼやけた外観になったことが, ぼやけによる別種の視覚的不快 (O'Hare & Hibbard, 2013) を誘発した可能性がある. 快風景・不快風景の加工画像に対する評定では, 患者群において健常群よりも高くなった. したがって, 画像加工による空間周波数中域の低減やぼやけの付加は, 患者群に顕著に影響したと考えられる.

瞳孔径計測の結果については (図 10), 患者群と健常群, 快風景と不快風景, いずれの効果も認められなかった. 図 9 の不快感評定とは傾向が著しく異なることから, 心理指標と生理指標の乖離が示唆された. たとえば表情画像を用いて片頭痛患者と健常者の心理生理的情動反応を比べた研究では, 感情価の主観評定では群間の差が認められないが, 怒り顔に対する事象関連電位 (N170) が片頭痛患者で強く観測されたという (Andreatta et al., 2012). 主観評定では, 顕在的な価値判断や社会的望ましさなど, 予期せぬ心理的変数の影響を受けて正確に心理状態を捉えられない場合がある (Annett, 2002). 今後は視覚的不快を検討するにあたり, 他の生理指標たとえば脳波や脳機能画像などを用いて, 心理生理指標の整合・乖離を調べたり, 視覚的不快を調べる上で最適な生理指標を探ったりすることが必要になるだろう.

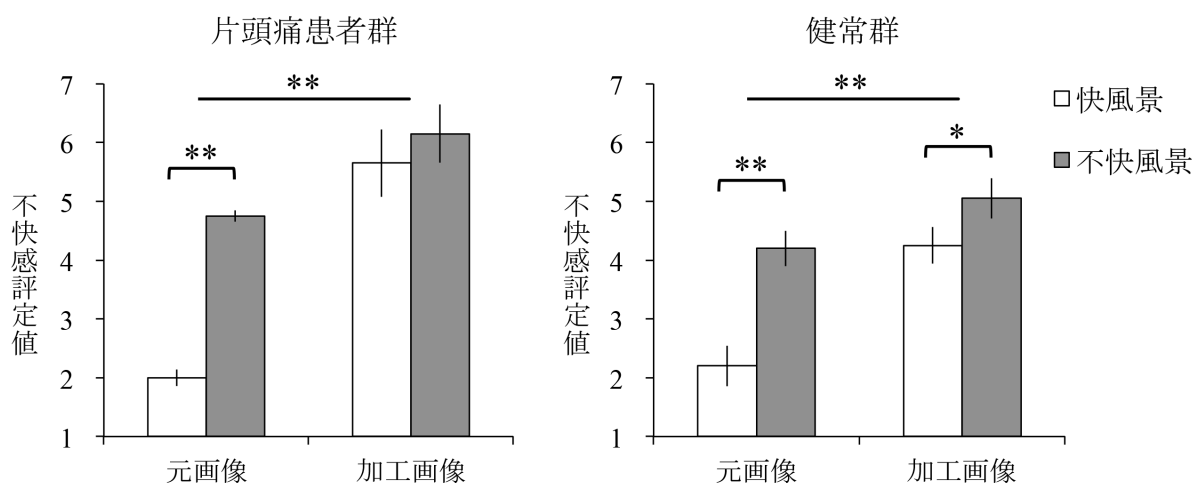


図 9. 片頭痛患者群と健常群における風景画像の不快感評定. 誤差範囲は±1 標準誤差を示す. *は $p < 0.05$, **は $p < 0.01$ の差を示す

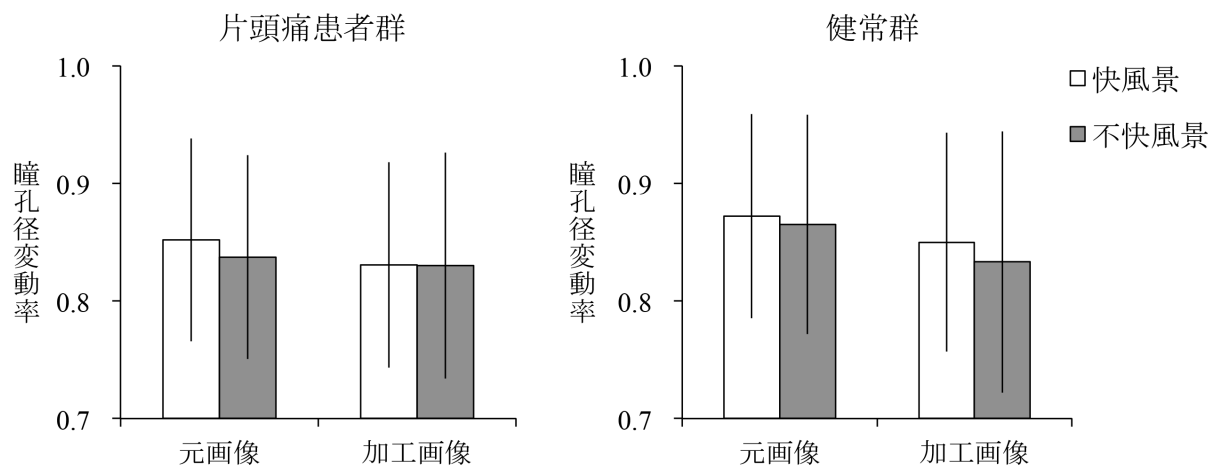


図 10. 片頭痛患者群と健常群における風景画像観察時の瞳孔径変動率. 誤差範囲は±1 標準誤差を示す. *は $p < 0.05$ の差を示す

1. 6. 4. 視覚的不快研究の展望

身の回りにある視覚的不快を誘発する刺激の探索と空間的特性の解明は、幾何学的パターン (e.g., Wilkins, 1995), 絵画画像 (Fernandez & Wilkins, 2008), 自然画像 (e.g., Imaizumi et al., 2013) を対象にして、心理的・生理的測定や画像解析手法を用いることで進んできた。また視覚的不快という文脈でヒト視覚の理解を深めるとともに、特異な視知覚特性を持つ片頭痛患者の理解も進んできた (Imaizumi et al., 2011; Imaizumi et al., 2013; Marcus & Soso, 1989)。

次なる研究動機は、片頭痛患者はどのような視覚体験を得ているのかという問いと、視覚体験が体験者から出力されるときにどのように表象されるのかという問いである。従来の実験心理学は、伝統的に刺激に対する反応を調べる『受動的な心』の研究だったと言って差し支えないであろう。しかし近年では、ヒトが外界に働きかけることが知覚や認知に影響したり更新したりする働きがあると指摘されている (Knill & Pouget, 2004)。たとえば行為に応じて返ってくる視覚体験の統計量がくり返し脳内で蓄積・更新されていき、体験される視知覚それ自体も次第に更新される (Kawabe, 2013)。こうした『能動的な心』の研究動向から着想を得て、片頭痛患者が出力する視覚対象すなわち絵画に対して、片頭痛患者の知覚体験や知覚特性がどのように現れるかを検討しようと考えた。Graham and Meng (2011) は、幻覚に悩まされる統合失調症患者が体験する世界を自分たちで想像するのは困難だが、患者の絵画がそのヒントを与えるかもしれないという。実際に、視覚や脳機能の基礎が絵画芸術から多く

読み取ることができ、画家や絵画は知覚研究の好対象であるとも指摘されている (Cavanagh, 2005). 患者や健常者の体験や特性が絵画などに表象されることが明らかになれば、心理測定法や治療法に発展させる基礎研究にもなりうる。

1. 7. 本研究の目的

本研究では二つの検討をした。検討1では、1. 6. 4.で述べたように片頭痛患者の特異な視覚特性が絵画に表出するかどうかを明らかにすることを目的とした。このために片頭痛患者の描いた絵画の画像を収集して空間周波数解析をおこなった。検討2では、1. 4. 7. 2で述べたように、片頭痛患者の特異な視覚-前庭連合について、姿勢制御がどのように視覚刺激から影響を受けるかを明らかにすることを目的とした。片頭痛患者で顕著にみられる運動錯視を誘発する刺激を用いて、重心動揺を計測する実験を片頭痛患者群と健常群におこなった。

2. 検討 1：絵画の画像特徴量に現れる片頭痛患者の視覚特性

本章は Imaizumi et al. (in press) に基づく。検討 1 は、ヘルシンキ宣言 (World Medical Association, 2013) を遵守し、千葉大学大学院工学研究科生命倫理審査委員会に承認された。

2. 1. 背景

2. 1. 1. Migraine art

第一次視覚野の過興奮性に起因して (Haigh et al., 2012; Huang et al., 2003), 片頭痛患者は格子模様などのパターンから視覚的不快を受けやすい (Imaizumi et al., 2011; Marcus & Soso, 1989; Wilkins, 1995). こうした知覚特性を持つ片頭痛患者の中には、アマチュア画家として視覚的不快や片頭痛の体験をモチーフとして表現する者がいる。こうした作品は『Migraine art』と呼ばれる (Wilkinson & Robinson, 1985). なお Migraine は片頭痛を意味する。1981 年から 1987 年にかけて四度イギリスやアメリカにおいて National Migraine Art Competition が開かれ、主に研究者に知れ渡った (Podoll, 2004a). 片頭痛患者にとっては、当時は周囲の理解が得にくかったであろう片頭痛の自己表現の場として、このコンペティションが受け止められた。こうした広まった Migraine art の数は増え、またインターネットの普及も 90 年代から加速化したこともあり、今ではインターネット上に数百もの作品が流布する (Podoll, 2006). 近年では Migraine art を、表現された片頭痛症状や色遣いにもとづいて質的に類型する試みがある (Podoll & Robinson, 2008). たとえば片頭痛の視覚性前兆である閃輝暗点をモチーフにした作品が多く見られるほか、不快感を色や形で抽象的に表現することや、頭部に矢が刺さるようにして頭痛を表現するものも見られる。

著名な芸術家には精神疾患やてんかん・頭痛を持つ者が少なからずおり、特異な体験を創作に活かしていると議論されてきた (Emery, 1997, 2004; Podoll & Ayles, 2006). とりわけ片頭痛については Picasso (Ferrari & Haan, 2000), van Gogh (Podoll, 2004b), de Chirico (Podoll & Nicola, 2004) が片頭痛を患い、それが絵画に影響していたと指摘されている。Picasso は、ある時期にはキュビズムと呼ばれる三次元を二次元に起こしたような極度に歪めた様式を用いていたが、これは片頭痛による視覚性前兆や視覚的歪みから着想を得たことによるという推測がある (Ferrari & Haan, 2000; Podoll, 2005). また van Gogh は激しい筆触と鮮やかな色遣いが特徴的だったが、星から放射状に光線が出たり、同心円上に光の輪が描かれたり、夜空

が渦を巻いていたりする表現も作品中に認められる。これらの表現は van Gogh が視覚性前兆や片頭痛関連めまいに悩まされていたと推論する例もある (大原, 2002)。最後に, de Chirico の残した著述には視覚性前兆に関するものが残されており, また作品の中にも閃輝暗点を模したであろう描写が認められる (Fuller & Gale, 1988; Podoll & Nicola, 2004)。これら三名の巨匠の絵画を *Migraine art* と呼べるかもしれないが, 彼らを診断した者が記録を残しているわけではなく, 片頭痛有病の正否について確証が得られない。したがって本研究では *Possible-migraine art* と呼ぶ。

2. 1. 2. 視覚的不快と空間周波数

Fernandez and Wilkins (2008) によると, 快と評される抽象絵画画像と不快と評される画像における空間周波数スペクトルを比べると, 不快な画像では空間周波数の中域 (1.5–6.0 cycles/degree) の振幅が大きい。空間周波数中域を増強したノイズ画像を用いても, 視覚的不快が増す (O'Hare & Hibbard, 2011)。これらの知見は他の先行研究とも整合しており, 幾何学的パターンや (Wilkins, 1995) や自然画像 (Cole & Wilkins, 2013; Imaizumi et al., 2013; Le et al., 2015) を用いても, 不快を誘発しやすい視覚刺激は空間周波数中域が強調された特徴量を示す。ヒトのコントラスト感度は空間周波数中域で最も高くなる (Blakemore & Campbell, 1969; Green, 1968)。したがって空間周波数中域に強い振幅を持つ視覚刺激は視覚系に神経活動やそれに付随する代謝的負荷を過度にかけることになり, それが主観的な視覚的不快を誘発すると考えられている (Fernandez & Wilkins, 2008; Hibbard & O'Hare, 2015)。

自然風景を映した画像は, 空間周波数スペクトルの傾斜が-1 を示すことが知られている (Field, 1987; Tolhurst et al., 1992)。そのため中域が強調された空間周波数特性を有する視覚刺激は, スペクトル傾斜が-1 から乖離しやすく, 不自然な画像と考えられる。この不自然さは上述の視覚的不快やその生理的応答だけでなく, 視覚的な審美性にも影響する。たとえば Juricevic et al. (2010) は, 空間周波数スペクトルの傾斜が-1 から乖離したノイズ画像の視覚的不快が増すことと審美性が低く評価されることを示している。また Isherwood et al. (2014) は, この知見を再現したうえで, 主観評定と視覚野脳血流量応答との相関を示している。スペクトル傾斜が大きい値 (なだらかなスペクトル) であるほど高周波数が強調されており鋭く精細な印象に, 小さい値 (急峻なスペクトル) であるほど低周波数が強調されておりぼやけた印象になる (Field & Brady, 1997; Webster et al., 2002)。以上のように, スペクトル傾斜は,

審美性を含む全体的な画像印象にも関わっており、興味対象として空間周波数中域に加えることで、画像特徴量と心理的変数の関連を多面的に検討することができると考えられる。

2. 1. 3. 患者の心理特性と描画に現れる画像特徴量の関連

これまでに画像特徴量と観察者に惹起する快・不快の関連についての知見は蓄積されてきた (e.g., Fernandez & Wilkins, 2008). しかし、絵画を描く者の心理特性、たとえば精神疾患や知覚特性が絵画などの創作物にどのように表出するかについては十分に検討されていない。臨床場面の性格検査用描画テストに用いる樹木画 (Koch, 1957) に画像解析を取り入れ、精神疾患の描画を解釈しようと試みている (Iwamitsu et al., 2013; Takasaki et al., 2005; Takemura et al., 2005). たとえば描画の濃度に現れる筆圧と抑うつ傾向との相関関係を調べたり、描画の水平・垂直方向の特徴量から患者の思考タイプを推察したりしている。

他方で、精神疾患の知覚特性が創作物に現れるかどうかを画像解析によって検討した例もある。統合失調症患者では低空間周波数の感度が低いことが知られている (Butler & Javitt, 2005; Slaghuis, 1998). 統合失調症患者の描いた絵画画像と健常者の描いた絵画を比べると、空間周波数スペクトルの傾斜が低いこと、すなわち低域が強調されていることが示された (Graham & Meng, 2011). 著者らは、患者にとって感度の低い低空間周波数成分を絵画に強調することによって、創作における患者自身の知覚機能の欠損を補っている、と考察している。

精神疾患や神経疾患を持つ者の知覚特性について、創作物を画像解析することで量的に検討した例は、申請者の知る限り Graham and Meng (2011) のみである。Iwamitsu et al. (2013) の指摘するように、絵画などの画像特徴量を客観指標として診断の補助とすることや、治療・介入の効果を知らることができるようになるかもしれない。片頭痛に関しては、縞模様に対する不快・嫌悪反応を用いた診断・評価の可用性が指摘されているが (小山, 2008), 片頭痛患者や片頭痛の疑いのある者の創作物から診断・評価ができるかどうかは検討されていない。片頭痛患者であると思われる作詞家の詞に片頭痛に付随した体験や感情が描写されやすいこと (Roberts & Vargas, 2012) は片頭痛患者の体験が創作物に出力されやすいことを示唆するが、片頭痛患者が描画したものから患者の特異な視覚特性を探る試みはまだない。

2. 1. 4. 検討 1 の目的

Migraine artist が不快な知覚体験を避けるならば、視覚的不快に寄与する空間周波数特性

は Migraine art 画像に含まれにくいことが予想できる。一方, Migraine artist が片頭痛や視覚的不快の体験を作品に応用または再現しようとするなら, Migraine art 画像に不快関連の空間周波数特性が顕著に含まれるであろう。検討 1 では, Migraine art や Possible-migraine art の画像の空間周波数特性とりわけ中域成分とスペクトル傾斜について, 片頭痛を有していなかったと見られる Non-migraine art と比べることで, この仮説を検証することを試みた。

2. 2. 方法

2. 2. 1. 解析された画像

Migraine art 画像 14 枚, Possible-migraine art として Picasso の絵画画像 13 枚, van Gogh の絵画画像 17 枚, de Chirico の絵画画像 9 枚 (表 1), および Non-migraine art 画像 27 枚 (表 2) を用いた。Non-migraine art 画像は, Amedeo Modigliani や Georges Seurat を含む, 著名かつ片頭痛有病が知られていない 22 名の作品だった。Migraine art 画像は画像共有ウェブサイト Flickr から収集された (Migraine Art, 2009)。それ以外の画像は画像公開ウェブサイト Google Art Project から収集された (Wikimedia Commons, 2014)。これらのウェブサイトから 2015 年 4 月時点で収集可能な絵画画像を解析対象とした。著作権の都合上, 画像例を本論文に掲載せずに, 作者名・作品名・制作年を補遺に示すのみとした。なお Migraine art は作者不詳だったり作品名が無題だったりしたため割愛した。

本来の絵画の寸法が画像群間で著しく異ならないように寸法を比べた。なお Migraine art は寸法が開示されておらず (Podoll & Robinson, 2008), 比較から除外した。Picasso, van Gogh, de Chirico, Non-migraine art の四群を比べた。四群全体で見ると, 絵画の高さの範囲は 35–457 cm (平均 141.34, 標準偏差 92.45), 幅の範囲は 24–776 cm (平均 152.33, 標準偏差 138.34) だった。四群の絵画の面積を分散分析で比べたところ群間に差は認められなかった ($F(3, 63) = 1.96, p = 0.13, \eta^2_p = 0.09$)。

表 1. 画像解析に用いられた Possible-migraine art

作者	作品名と制作年
Pablo Picasso	Young Ladies of Avignon, 1907; Untitled, 1938; Girl before a Mirror, 1932; Three Musicians, 1921; Après Femme au Chapeau, year unknown; Studio with Plaster Head, 1925; Woman with a Flower, 1932; Pablo Picasso and Sebastia Junyer-Vidal arrives to Paris, 1901; Guernica, 1937; Woman in a Hat with Pompoms and a Printed Blouse, 1962; Woman with Green Hat, 1939; Weeping Woman, 1937; Woman with a Hairnet, 1938
Vincent van Gogh	Starry Night, 1889; Starry Night over the Rhone, 1888; Wheatfield with Crows, 1890; Self-portrait, 1887; A Wheat Field, with Cypresses, 1889; Sunflowers, 1888, 1889; Self-Portrait with Straw Hat, 1887; Prisoners Exercising, 1890; Vase with Gladioli and China Asters, 1886; Portrait of Dr. Gachet, 1890, Red Vineyard, 1888; Road with Cypress and Star, 1890; Mulberry Tree, 1889; Sorrowing Old Man, 1890; Night Cafe, 1888; Gauguin's Chair, 1888
Giorgio de Chirico	Torino Printanière, 1914; Disquieting Muses, 1916; Gare Montparnasse, 1914; Orfeo Trovatore Stanco, 1970; Gladiators at Rest, 1928; Il Ritornante, 1917; Piazza d'Italia, 1913; Self-portrait, 1922; Uncertainty of the Poet, 1913

表 2. 画像解析に用いられた Non-migraine art

作者	作品名と制作年
Amedeo Modigliani	Paul Guillaume, Novo Pilota, 1915
Arthur Streeton	Fire's on, 1891
Benvenuto Tisi	Annunciation, 1528
Bernat Martorell	Altarpiece of Saint Vincent, 1438
Canaletto	Bucentaur's Return to the Pier by the Palazzo Ducale, 1728
Édouard Manet	In the Conservatory, 1878
Georges Seurat	A Sunday Afternoon on the Island of La Grande Jatte, 1884
Gilbert Stuart	George Washington, 1797
Giovanni Bellini	St. Francis in the Desert, 1475
Hans Holbein	Merchant Georg Gisze, 1532; Ambassadors, 1533
James McNeill Whistler	Princess from the Land of Porcelain, 1865
Almeida Júnior	Longing, 1899
Juan Gris	Bottle of Anís del Mono, 1914
Jürgen Ovens	Justice (or Prudence, Justice, and Peace), 1662
Karl Briullov	Last Day of Pompeii, 1830
Louise Vigée Le Brun	Marie-Antoinette de Lorraine-Habsbourg, Queen of France, and Her Children, 1787
Pierre-Auguste Renoir	Bal du Moulin de la Galette, 1876
Pierre-Denis Martin	View of the Château de Fontainebleau, 1718
Pieter Brueghel	Harvesters, 1565; Tower of Babel, 1563; Fall of the Rebel Angels, 1562
Rembrandt van Rijn	Abduction of Europa, 1632; Return of the Prodigal Son, 1669; Night Watch, 1642
Sandro Botticelli	Birth of Venus, 1486
Vittore Carpaccio	Young Knight in a Landscape, 1510

2.2.2. 画像加工

すべての画像は、輝度情報のみを持つグレースケール画像に変換され、512×512 pixel になるようにサイズ変換とトリミングがなされた。最大の正方形で絵画の中央からトリミングするように、各画像の左右端または上下端が削除された。鑑賞者が長方形の絵画を鑑賞する際に、鑑賞者は少なくとも絵画の高さか幅のいずれかが視野内に収まるように絵画と距離をとって鑑賞すると仮定した。すなわち縦長の絵画は幅が視野に収まり、横長の絵画では高さが視野に収まった。画像の加工には Photoshop CS6 (Adobe Systems Inc.) を用いた。

2.2.3. 画像解析

二次元高速フーリエ変換により、振幅が空間周波数の関数となる空間周波数スペクトルを画像ごとに算出した。まず画像内ピクセルの平均輝度が 256 階調中の 128 になるように画像を正規化したうえで、ハニング窓関数によるフィルタリングを用いてフーリエ変換をした。そうして算出された空間周波数スペクトルに対して線形回帰直線を適合させて、回帰直線の傾斜を算出した。この解析方法は、不快な情動価を持つ自然画像を解析した先行研究を参考にした (Cole & Wilkins, 2013; Le et al., 2015)。画像解析の演算に MATLAB R2014a (MathWorks Inc.) が用いられた。回帰直線の適合や傾斜の算出には Kovesi (2001) の `inspect` 関数を流用した。

2.2.4. 統計分析

各画像群の空間周波数スペクトルについて、空間周波数帯域ごとに対応のない両側 t 検定をおこなった。スペクトルの傾斜については画像群を要因とした分散分析をおこなった。等分散が仮定されない場合は、Welch の t 値および F 値を採用した。統計分析には SPSS 22.0J (IBM Corp.) を用いた。有意水準を 0.05 に設定した。

2.3. 結果

2.3.1. 空間周波数の中域成分

図 11 に Migraine art, Picasso, van Gogh, de Chirico それぞれと Non-migraine art とで平均空間周波数スペクトルを比べたものを示す。Migraine art 画像は有意に空間周波数中域 15–74 cycles/image の振幅が Non-migraine art 画像よりも大きかった ($t \geq 2.07, p < 0.05, \text{Cohen's } d \geq$

0.73). この周波数帯域は, Fernandez and Wilkins (2008) で視覚的不快に寄与すると報告されていた 37.5–150.0 cycles/image と重複する. なお, この先行研究では実際には 1.5–6.0 cycles/degree と報告されているが, ここで用いられた刺激が約視角 25 度を張っていたことに基づいて cycles/image に換算している. Possible-migraine art の 3 画像群のそれぞれについても, 中域成分の振幅が Non-migraine art より有意に大きかった (Picasso 4–117 cycles/image: $t \geq 2.02, p < 0.05, d \geq 0.73$, van Gogh 12–256 cycles/image: $t \geq 2.62, p < 0.05, d \geq 0.81$, de Chirico 8–87 cycles/image: $t \geq 1.99, p < 0.05, d \geq 0.77$).

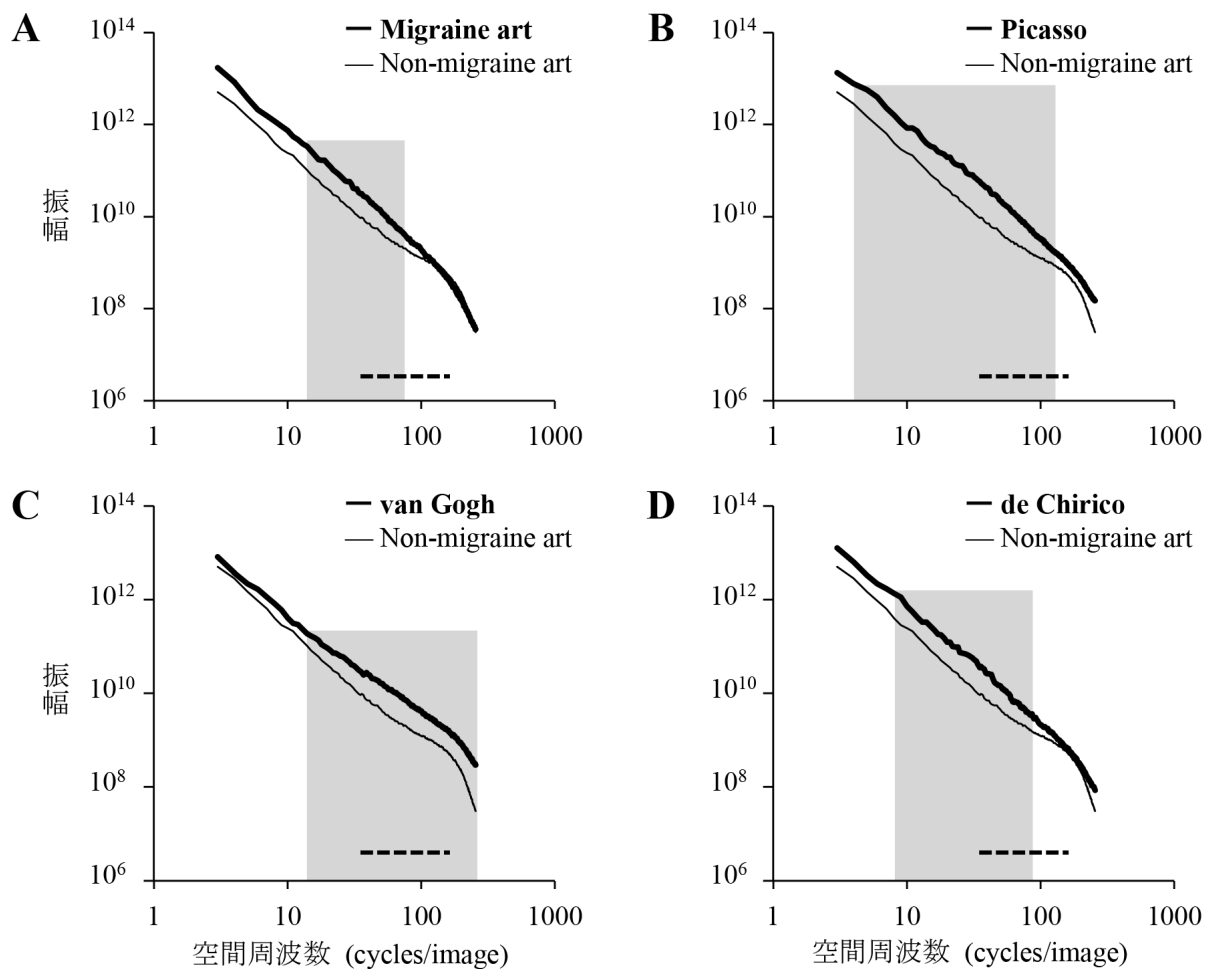


図 11. (A) Migraine art, (B) Picasso, (C) van Gogh, (D) de Chirico それぞれと Non-migraine art とを比べる空間周波数スペクトル (対数-対数平面). 灰色帯は二つのスペクトルの振幅に有意差がある周波数帯域を示す ($p < 0.05$). 水平破線は視覚的不快に寄与する帯域を示す (Fernandez & Wilkins, 2008)

これらの結果から、Migraine art や Possible-migraine art は視覚的不快に関連する空間周波数中域成分を顕著に内包することが示唆された。これは抽象絵画画像 (Fernandez & Wilkins, 2008) やノイズ画像 (O'Hare & Hibbard, 2011), 風景画像 (Imaizumi et al., 2013) で得られた知見とも整合する。

2.3.2. 空間周波数スペクトルの傾斜

図 12 に各画像群の空間周波数スペクトルの傾斜を示す。分散分析の結果、画像群の有意な効果が認められた ($F(4, 27.63) = 8.78, p < 0.01, \omega^2 = 0.27$)。Welch の F 値を用いたため効果量をオメガ二乗 (ω^2) で示した (Cohen, 1988)。Games-Howell の多重比較を用いたところ、Migraine art 画像は Possible-migraine art や Non-migraine art 画像よりも低い傾斜を示した ($ps < 0.01$)。van Gogh の絵画画像は、Picasso や de Chirico の絵画画像よりも低い傾斜を示した ($ps < 0.05$)。Possible-migraine art と Non-migraine art との間に差は認められなかった。

これらの結果は Migraine art が Possible-migraine art や Non-migraine art に比べて不自然なスペクトル傾斜を有することを示唆している。画像のスペクトル傾斜が-1 から乖離すると観察者における視覚的不快が増大しやすかったり審美性が損なわれやすかったりすることを踏まえると (Juricevic et al., 2010), Migraine art 画像は空間周波数中域の強調された成分と不自然なスペクトル傾斜を有しており、視覚的不快に寄与する空間的特性を持つとともに芸術的価値や審美性を損なっていることが示唆される。他方で 3 名の著名な画家による Possible-migraine art は空間周波数中域成分を顕著に含んでいたが、片頭痛がないと予想された著名な画家による Non-migraine art と比べて、スペクトル傾斜の差が認められなかった。これは、Possible-migraine art には不快に寄与する成分が含まれつつも、芸術的価値や審美性が何らかの機序によって維持されているためと推測する。

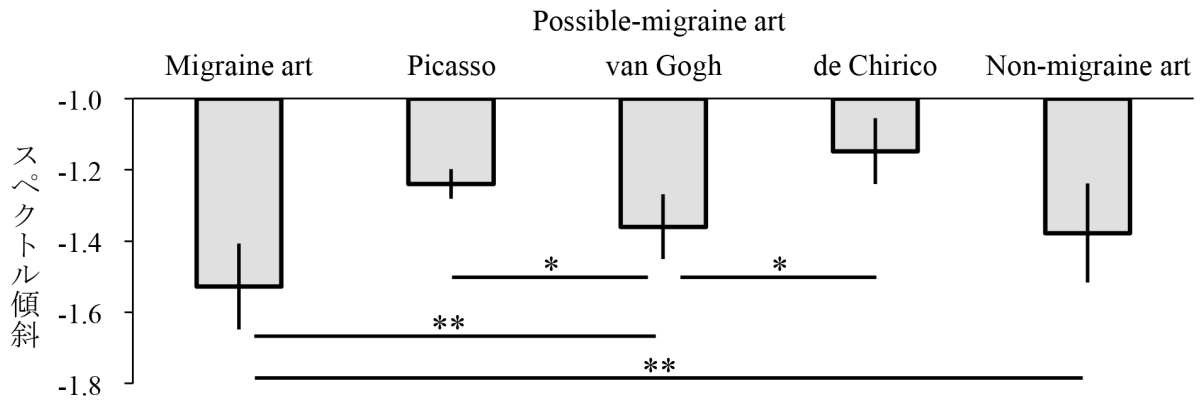


図 12. 各画像群の空間周波数スペクトルの傾斜. 誤差範囲は 95%信頼区間を示す. *は $p < 0.05$ の, **は $p < 0.01$ の差を示す

2. 4. 考察

2. 4. 1. 検討 1 の主な知見

Migraine art 画像は空間周波数中域成分を顕著に含み, 不自然な周波数スペクトル傾斜を示した. 同様に Possible-migraine art 画像も, Non-migraine art と比べて中域成分が顕著に含まれたものの, スペクトル傾斜に差が認められなかった. 空間周波数中域成分は視覚的不快の誘発に寄与することや (e.g., Fernandez & Wilkins, 2008), スペクトル傾斜の-1 からの乖離は不快の増大や審美性の低下に寄与すること (e.g., Juricevic et al., 2010) を踏まえて本結果を解釈すると, 片頭痛を持つ画家は視覚的不快に寄与する空間的特性を忌避するのではなく, 応用していることが示唆される. Migraine art の質的研究では, 絵画の様式やモチーフを分類したり, そこから画家の症状を推測したりすることに留まっていたが (Podoll & Robinson, 2008; Wilkinson & Robinson, 1985), 本研究では画像統計量を用いることで, 量的に Migraine art の特性の一部を示した. 患者の知覚特性と整合する画像特徴量を示したという点では, Graham and Meng (2011) の知見を支持したうえで片頭痛研究へ拡張させたと言えよう.

2. 4. 2. 検討 1 の限界

本検討で用いた絵画には年代や画風にばらつきがあったため (Picasso: 1900-1930 年代, van Gogh: 1880-1890 年代, de Chirico: 1910-1970 年代, Non-migraine art: 1430-1910 年代), それらが交絡要因として結果に影響した可能性は否めない. 実際に, これら四つの絵画群の制作年について分散分析したところ, 絵画群の有意な効果が認められ (Welch's $F(3, 16.02) =$

15.96, $p < 0.01$, $\omega^2 = 0.42$), Games-Howell の多重比較を用いたところ Picasso と de Chirico の比較を除くすべての組み合わせにおいて有意差が認められた ($ps < 0.05$). また画風は、画家と年代のいずれからも影響を受ける上に、それ自体が定性的なものであり、統制が困難であるという限界もある。それでもなお、Non-migraine art と比べれば空間周波数中域の強調や不自然な空間周波数スペクトル傾斜が Migraine art や Possible-migraine art に認められたことから、画風や年代を問わず、片頭痛の影響は絵画に頑健に現れるとも考えられる。

今回用いた三名の巨匠は、あくまで Possible-migraine artist だった。片頭痛有病を支持する文献がある一方で、Picasso (Haan & Ferrari, 2011) や de Chirico (Blanke & Landis, 2003) の有病を疑う文献もある。こうした限界を克服するためには、存命の画家のうち、質問紙や面接にもとづいて片頭痛有病の確証を得られる者の絵画で本知見を再現する必要がある。今後の課題としたい。

今回用いた画像加工方法では、画家や鑑賞者が絵画の概ね全体を見渡す状態を想定してトリミングをおこなった。これとは別に、画家が描いている瞬間すなわち画家の腕の長さを観察距離としたトリミングをしてみると結果がどのようになるか、今後検討する価値がある。この案は魅力的ではあるが、検討する上での困難もある。絵画のどの部分をトリミングして解析するか、トリミングした箇所の空間周波数特性をどこまで般化することができるか、考慮する必要がある。この考慮においては、画家が絵画に接近したときと離れたときとの比較のために、視距離に依存せずに現れうる空間的構造の共通性 (フラクタル) も検討材料になるだろう (Taylor et al., 1999)。

2.4.3. 検討1の展望

画像統計量は、芸術家やデザイナーの個人差や知覚特性を検討する手法として今後の研究に有用であろう。ここでいう個人差には精神疾患や神経疾患も含む。Graham and Meng (2011) が扱った統合失調症だけでなく、部分限局的かつ過敏性のある知覚 (Happe, 1999) や高い創造性 (Craig & Baron-Cohen, 1999) があることの多い自閉スペクトラム障害は、罹患率の高さをふまえれば検討の価値が十分にある。新しい心理測定として臨床場面に画像解析を用いられるかもしれない (Iwamitsu et al., 2013)。

統制された環境で実験や調査をすることで、片頭痛患者の知覚特性が画像特徴量に現れることを再現し、知見を深めていく必要がある。たとえば片頭痛のある画家または美術大学生

からある程度の人数の協力を得る。そうして画材・モチーフ・制作時間などを統一した上で作成させた絵画を解析したらどうなるか。この方策は、本研究の再現という意味だけでなく、画家の知覚特性 (e.g., Cavanagh, 2005) を調べるうえでの新たな視座を当てる可能性もある。

絵画を研究対象にする場合は、輝度情報 (e.g., 空間周波数) だけでなく色彩情報の検討も必要であろう。色彩コントラスト (i.e., 二色間の色度の乖離) も視覚的不快に寄与することが知られており (Haigh et al., 2013; Juricevic et al., 2010), 今後は、Migraine art の色彩コントラスト特性やその空間周波数特性との関連を検討する価値がある。

3. 検討 2 : 運動錯視を用いた片頭痛患者の視覚・前庭機能の検討

本章は Imaizumi et al. (2015) に基づく。検討 2 は、ヘルシンキ宣言 (World Medical Association, 2013) を遵守し、千葉大学大学院工学研究科生命倫理審査委員会に承認された。

3. 1. 背景

3. 1. 1. 動的視覚刺激に誘発される身体動揺

姿勢制御は、平衡機能を主に司る前庭器官によって調整されるだけでなく (Birren, 1945), 視覚刺激によっても調整される (Bles et al., 1977)。たとえば拡散または収束するオプティックフローのような、前後方向の自己運動を模すような運動視覚刺激は、静止した立位の観察者に重心動揺を惹起する (Lee & Lishman, 1975; van Asten et al., 1988)。オプティックフローは自己運動に応じた視覚環境の運動を指す (Warren & Hannon, 1988)。例としてランダムドットの拡張収縮と自己の前後運動の対応がわかりやすい。視覚刺激に由来する姿勢制御は生後 13-16 ヶ月の乳児の時点で発達している (Lee & Aronson, 1974)。これらに加えて近年の研究でも (Guerraz & Bronstein, 2008; Meyer et al., 2013), 動的な視覚刺激が重心動揺を誘発することが示されている。

3. 1. 2. 運動錯視

上述した動的刺激は、運動エネルギーをともなつて物理的に運動する視覚刺激を指していた。しかし、ヒトの運動視には必ずしも視覚刺激に運動エネルギーがともなう必要はなく、静止視覚刺激から運動を錯覚的に知覚することがある。主な運動錯視の例として、Fraser-Wilcox 錯視 (Fraser & Wilcox, 1979) は、鋸型の輝度変化を繰り返す持つ放射状の静止図形が、運動しているように知覚される。Rotating Snakes (Kitaoka, 2003) は最適型 Fraser-Wilcox 錯視とも呼ばれ (図 13), 段階的な輝度変化を繰り返す幾何学的パターンが運動錯視を誘発する (Kitaoka & Ashida, 2003)。錯視量の強さと頑健さから、実験刺激としてヒト視覚 (Ashida et al., 2012; Conway et al., 2005; Kuriki et al., 2008) やヒト以外の動物種の比較認知研究にも用いられている (Bååth et al., 2014; Gori et al., 2014)。

Rotating Snakes の運動錯視は、段階的な輝度変化 (青-黒-黄-白) のそれぞれの要素が異なる潜時で処理されて運動信号が生成されることに起因し (Backus & Oruc, 2005; Conway et al.,

2005), 第一次視覚野から第五次視覚野にかけての視覚皮質に神経基盤を持つ (Ashida et al., 2012; Kuriki et al., 2008). この運動信号はサッカード (Kuriki et al., 2008; Murakami et al., 2006) やマイクロサッカード (Otero-Millan et al., 2012) によって惹起または増強され, 運動錯視が生じやすくなる. サッカードは何かを中心視で捉えようとする際の素早い跳躍的眼球運動を指し, マイクロサッカードは何かを固視する際に不随意的に生じる微細な眼球運動 (i.e., 固視微動) のうち振幅の大きい跳躍的な運動を指す (Alpern, 1972). 固視微動に含まれる他種の眼球運動については割愛する.

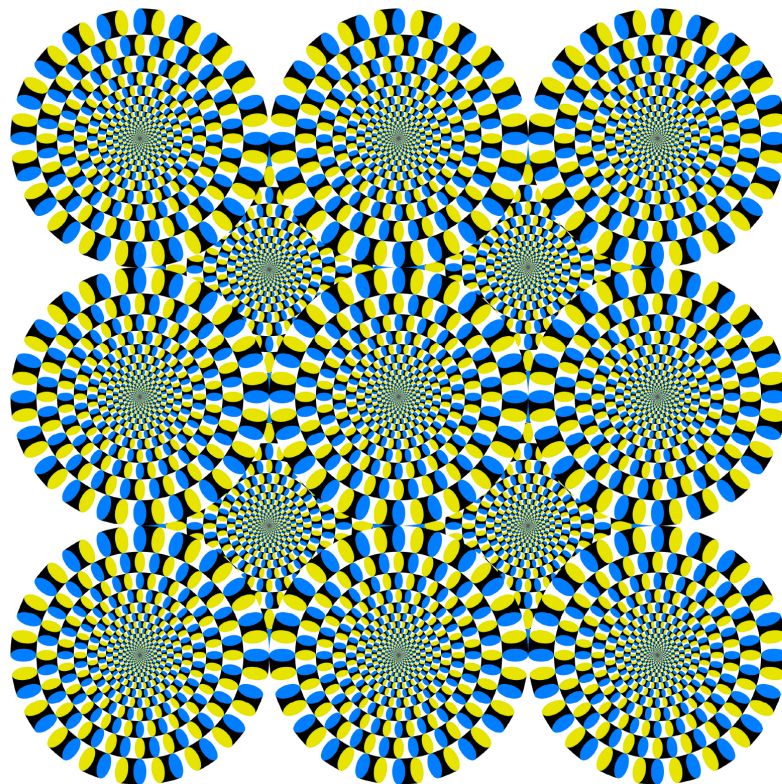


図 13. 実験 1 と実験 2 で用いた蛇画像. 作者の許可を得て転載された (Kitaoka, 2011)

3. 1. 3. 運動錯視に誘発される身体動揺

運動錯視の身体運動への影響はこれまでにほとんど研究されていない. 数少ない先行研究の一つによると, 錯覚的に拡張するように見えるオプティックフローによって前方向の視覚誘導性自己運動感覚 [ベクション: Dichgans and Brandt (1973)] を正立した観察者に惹起させる (Seno et al., 2013). 実際の身体運動すなわち身体重心の動揺を扱った近年の研究によると, 視野全体を覆う左右いずれかの方向に動的なランダムドットを観察し続けた後に静止したラ

ンダムドットを観察すると、先と反対方向の運動残効が知覚され、このとき残効と同じ方向に重心動揺が増す (Holten et al., 2014). 著者らは、運動エネルギーをともなう視覚刺激と、視覚刺激のない神経レベルでの運動視情報とでは、ともに姿勢制御に影響するという点で共通だと考察する. 実際、運動エネルギーをともなう動的視覚刺激が賦活させる第五次視覚野は (Morrone et al., 2000; Zeki et al., 1991), 運動錯視 (Ashida et al., 2012; Kuriki et al., 2008) や運動残効 (He et al., 1998) の知覚によっても賦活する. 他方、身体運動の方向と整合するオプティックフローを観察すると、第五次視覚野が賦活するだけでなく (Slobounov et al., 2006), 前庭入力の処理 (Smith et al., 2012) や自己運動の表象 (Fischer et al., 2012; Wall & Smith, 2008) を担う帯状溝視覚領域も賦活する. 物理的な運動をともなう運動視は、運動錯視や運動残効と共通の神経基盤を持ち、自己運動を表象する神経基盤にも同様に表象される. このことから運動錯視は、物理的な運動視 (e.g., Lee & Lishman, 1975) や運動残効 (Holten et al., 2014) と同様に、姿勢制御に影響することが推測される. しかし運動錯視を誘発する静止視覚刺激の観察時に重心がどのように影響を受けるかを検討した例はない.

3. 1. 4. 片頭痛患者における運動錯視および姿勢制御

片頭痛患者は、健常者と比べて、格子模様のような静止した幾何学的パターンに運動錯視または歪みを知覚しやすい (Huang et al., 2003; Imaizumi et al., 2011; Marcus & Soso, 1989; Wilkins et al., 1984). これは片頭痛患者の第一次視覚野 (Aurora et al., 1998; Haigh et al., 2012; Huang et al., 2003) や第五次視覚野 (Granziera et al., 2006) の特異な賦活によると考えられる.

また片頭痛患者は乗り物酔い (動揺病) にかかりやすい (Cutrer & Baloh, 1992; Drummond, 2005; Marcus et al., 2005). 動揺病は、たとえば車内において車外の見えに対して身体が著しく揺れることがあるように、視覚入力と前庭入力の不一致に起因する (Reason & Brand, 1975; Yates et al., 1998). 実験室環境において、とりわけ片頭痛患者では視覚入力のみで動揺病様症状を呈する. たとえば静止した状態で上下方向に運動する格子模様を観察し続けると、片頭痛患者には動揺病症状が現れやすい (Drummond, 2002; Drummond & Granston, 2004). したがって片頭痛患者が視覚由来の動揺病にかかりやすいことから、姿勢制御においても視覚入力に依存しやすいことが推測される. 一般に、閉眼時は姿勢制御に視覚入力を使えないため身体の揺れが増すが (Edwards, 1946; Honma et al., 2012; Travis, 1945), 片頭痛患者では閉眼時の揺れの増大が健常者より顕著であることが知られている (Ishizaki et al., 2002). 本検討

では、片頭痛患者の姿勢制御は健常者のそれに比べて視覚刺激の影響を受けやすく、さらに刺激が運動錯視を誘発する場合に顕著であると仮説を立てた。

3. 1. 5. 検討 2 の目的

本検討では、運動錯視が重心動揺を増大させるかどうか、片頭痛患者においてそれが顕著であるかどうかを明らかにすることを目的とした。このために、片頭痛患者と健常者に運動錯視のある刺激とない刺激を観察させて、その間の重心動揺を計測する実験をおこなった。

3. 2. 実験 1

片頭痛患者と健常者に対して、運動錯視を誘発する画像と、それと等輝度の灰色平面画像を刺激として、刺激観察中の重心動揺を測定した。

3. 2. 1. 方法

3. 2. 1. 1. 参加者

片頭痛患者 11 名 (女性 6 名, 平均 22.18 ± 0.30 歳) と片頭痛を含む慢性頭痛のない 9 名の健常群 (女性 2 名, 平均 22.22 ± 0.40 歳) が参加した。1 名の患者は視覚性前兆を有していた。

慢性頭痛の有無や種類、前兆症状の有無を判断するために、国際頭痛分類第二版 (日本頭痛学会新国際頭痛分類普及委員会, 2004) に基づく質問紙を用いて、実験前にスクリーニングした。質問紙には、頭痛の頻度・部位・強度・持続時間・随伴症状などを訊く 18 項目が含まれた。診断基準は、(1) 頭痛の持続時間が 4-72 時間であること、(2) 片側性・拍動性・中～重度の痛み・日常動作による頭痛増悪のうち少なくとも二つを満たすこと、(3) 頭痛発作中に悪心・嘔吐・光過敏・音過敏のうち少なくとも一つが伴うこと、(1)～(3) のすべてを満たす頭痛発作を 5 回以上経験していること、およびその他の疾患によらないことだった。

全参加者は裸眼または矯正による正常な視力を有していた。色覚異常など、視覚に支障のある参加者はいなかった。参加者に頭痛の起きていない時に実験が実施された。各参加者に書面による研究内容の説明をしたうえで、研究参加の同意を得た。

3. 2. 1. 2. 装置

図 14 に装置の模式図を示す。ヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD とする; HMZ-T1,

Sony Corp.) に刺激が呈示された。HMD の画面は $0.40\text{--}28.36\text{ cd/m}^2$ の範囲の輝度を有した。重心動揺計 (UM-BAR2, Unimec Corp.) は、壁から 60cm 離れた位置の床に置かれ、USB インタフェースでコンピュータに接続され、参加者の身体重心の軌跡を 60Hz のサンプリングレートで記録した。

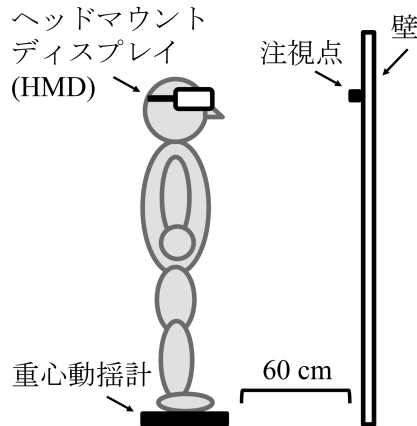


図 14. 実験 1 と実験 2 で用いた装置

3. 2. 1. 3. 刺激

一様な灰色平面画像と、図 13 に示した運動錯視を誘発する画像 *Rotating Snakes* (Kitaoka, 2003, 2011) を刺激として用いた (以下、蛇画像)。蛇画像は『黒-青-白-黄』と並ぶ単位が集合して画像の全体が構成されており、これによって回転しているように見える運動錯視が生じる。両刺激の中央に注視点『+』が重ねられた。両刺激とも画像全体の平均輝度は 13.56 cd/m^2 に統一され、HMD 画面内で約 29×29 度を張るように、黒色背景上に呈示された。

3. 2. 1. 4. 手続き

重心動揺計測基準 (Kapteyn et al., 1983) に倣った。はじめに HMD を着けずに重心動揺を測定した。まず参加者は靴を脱ぎ、両腕を体側面に垂らし、足を水平方向に 15-20cm ほど広げて重心動揺計に直立した。身体を意図的に動かさず、力まないで直立するように教示を与えた。参加者は、参加者の眼の高さとほぼ同一の高さで壁面に貼付された注視点を 30 秒間観察した。この間の重心動揺が測定された。これを開眼条件とした。この直後に、参加者は両眼を閉じ、直立して再び 30 秒間重心動揺を測定した。これを閉眼条件とした。

続いて、参加者は HMD を装着して、重心動揺計に直立した。いずれかの視覚刺激が呈示

されると同時に、参加者は画面中央の注視点を観察し続け、重心動揺が 30 秒間計測された。その直後に、開眼条件の直後に HMD をつけたまま閉眼で 30 秒間測定された。刺激は無作為順に呈示された。なお、片頭痛患者に固視微動の特異性はないことから (Wilkinson et al., 2006), 注視点を観察し続けることは交絡要因にならないと判断した。

HMD なし条件と 2 種の刺激を用いる条件で各 1 試行、計 3 試行が遂行された。視覚刺激による過度の視覚的不快・疲労や、頭痛発作のおそれを低減するために (Harle et al., 2006; Wilkins, 1995), 試行数を限った。また、計測は伝統的には 1 試行 60 秒だったが、負担を軽減する目的で 30 秒間に短縮した。これは片頭痛患者の重心動揺を測った先行研究 (Ishizaki et al., 2002) に倣った措置である。

身体の揺れの指標として、身体重心の移動の総軌跡長と矩形面積を記録した (図 15)。総軌跡長は、重心の移動前後の座標間距離の総和である。矩形面積は、重心軌跡の X, Y 方向それぞれを囲む方形の面積である。閉眼条件と開眼条件の比であるロンベルグ率を、総軌跡長と矩形面積のそれぞれについて算出した。ロンベルグ率は、姿勢制御における視覚入力の効果の指標である (Diener et al., 1984)。ヒトは閉眼時に視覚入力が奪われ姿勢制御が難しくなるため、通常ロンベルグ率は 1 を超える (Edwards, 1946; Honma et al., 2012; Travis, 1945)。したがって低いロンベルグ率は、開眼時により顕著に重心動揺が起きたことを示す。

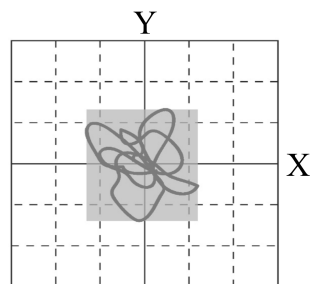


図 15. 身体重心の軌跡の XY 平面。総軌跡長と軌跡の矩形面積が分析された

3. 2. 1. 5. 分析

開眼・閉眼条件それぞれの総軌跡長、総軌跡長のロンベルグ率、開眼・閉眼条件それぞれの矩形面積、矩形面積のロンベルグ率それぞれに分けて、刺激を参加者内要因 (HMD なし、灰色平面、蛇画像)、片頭痛を参加者間要因 (患者群、健常群) として反復測定分散分析をおこなった。片頭痛の視覚性前兆を有する患者は、動きやちらつきなどの視知覚の歪みを経験

しやすいため (Chronicle & Mulleners, 1994; Cucchiara et al., 2015; Shepherd, 2000), 前兆の有無の効果を検討する価値も考えられたが, 参加者数の少なさから分析をしなかった. 分散分析の球面性を仮定できない場合に Greenhouse-Geisser の自由度補正をおこなった. 多重比較に Bonferroni の補正を用いた. 有意水準を 0.05 に設定した. 効果量として偏イータ二乗 (η^2_p) を記した (Cohen, 1988). 統計分析に SPSS 22.0J (IBM Corp.) を用いた.

3. 2. 2. 結果

片頭痛患者群と健常群における総軌跡長と矩形面積の結果を図 16 に示す.

3. 2. 2. 1. 総軌跡長

開眼・閉眼条件の総軌跡長およびロンベルグ率に刺激の有意な主効果が認められた (開眼: $F(2, 36) = 4.48, p < 0.05, \eta^2_p = 0.20$; 閉眼: $F(2, 36) = 7.16, p < 0.01, \eta^2_p = 0.29$; ロンベルグ率: $F(1.50, 27.08) = 19.69, p < 0.01, \eta^2_p = 0.52$). 多重比較の結果, 灰色平面または蛇画像観察時の開眼条件では HMD なし条件よりも総軌跡長が長かった ($ps < 0.05$). 反対に, 閉眼条件の総軌跡長やロンベルグ率は, 灰色平面・蛇画像観察条件において HMD なし条件よりも小さかった ($ps < 0.01$; 灰色平面・閉眼条件のみ $p < 0.05$). 総軌跡長や総軌跡長のロンベルグ率について, 片頭痛の主効果や刺激と片頭痛の交互作用は認められなかった (開眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 18) = 0.95, p = 0.34, \eta^2_p = 0.05$; 閉眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 18) = 1.23, p = 0.28, \eta^2_p = 0.06$; ロンベルグ率への片頭痛の主効果: $F(1, 18) = 0.10, p = 0.76, \eta^2_p = 0.01$; 開眼条件の交互作用: $F(2, 36) = 2.14, p = 0.13, \eta^2_p = 0.11$; 閉眼条件の交互作用: $F(2, 36) = 1.39, p = 0.26, \eta^2_p = 0.07$; ロンベルグ率への交互作用: $F(1.50, 27.08) = 0.01, p = 0.97, \eta^2_p = 0.00$).

3. 2. 2. 2. 矩形面積

開眼条件とロンベルグ率においては刺激の主効果が認められたが (開眼: $F(2, 36) = 8.52, p < 0.01, \eta^2_p = 0.32$; ロンベルグ率: $F(2, 36) = 7.65, p < 0.01, \eta^2_p = 0.30$), 閉眼条件では認められなかった ($F(2, 36) = 1.26, p = 0.30, \eta^2_p = 0.07$). 多重比較の結果, 開眼条件では灰色平面 ($p < 0.05$) と蛇画像 ($p < 0.01$) の観察時には HMD なし条件よりも矩形面積が大きく, 矩形面積のロンベルグ率は灰色平面観察時に HMD なし条件よりも低かった ($p < 0.01$). 片頭痛の主効果と刺激と片頭痛の交互作用は認められなかった (開眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 18) =$

0.34, $p = 0.57$, $\eta^2_p = 0.02$; 閉眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 18) = 3.15$, $p = 0.09$, $\eta^2_p = 0.15$; ロンベルグ率への片頭痛の主効果: $F(1, 18) = 4.17$, $p = 0.06$, $\eta^2_p = 0.19$; 開眼条件の交互作用: $F(2, 36) = 0.44$, $p = 0.65$, $\eta^2_p = 0.02$; 閉眼条件の交互作用: $F(2, 36) = 2.05$, $p = 0.14$, $\eta^2_p = 0.10$; ロンベルグ率への交互作用: $F(2, 36) = 0.63$, $p = 0.54$, $\eta^2_p = 0.03$). しかし多重比較をすると, 患者群において, 矩形面積は, 蛇画像観察後の閉眼条件で健常群よりも有意に大きかった ($p < 0.01$). そのためロンベルグ率も同様に患者群で高かった ($p < 0.05$).

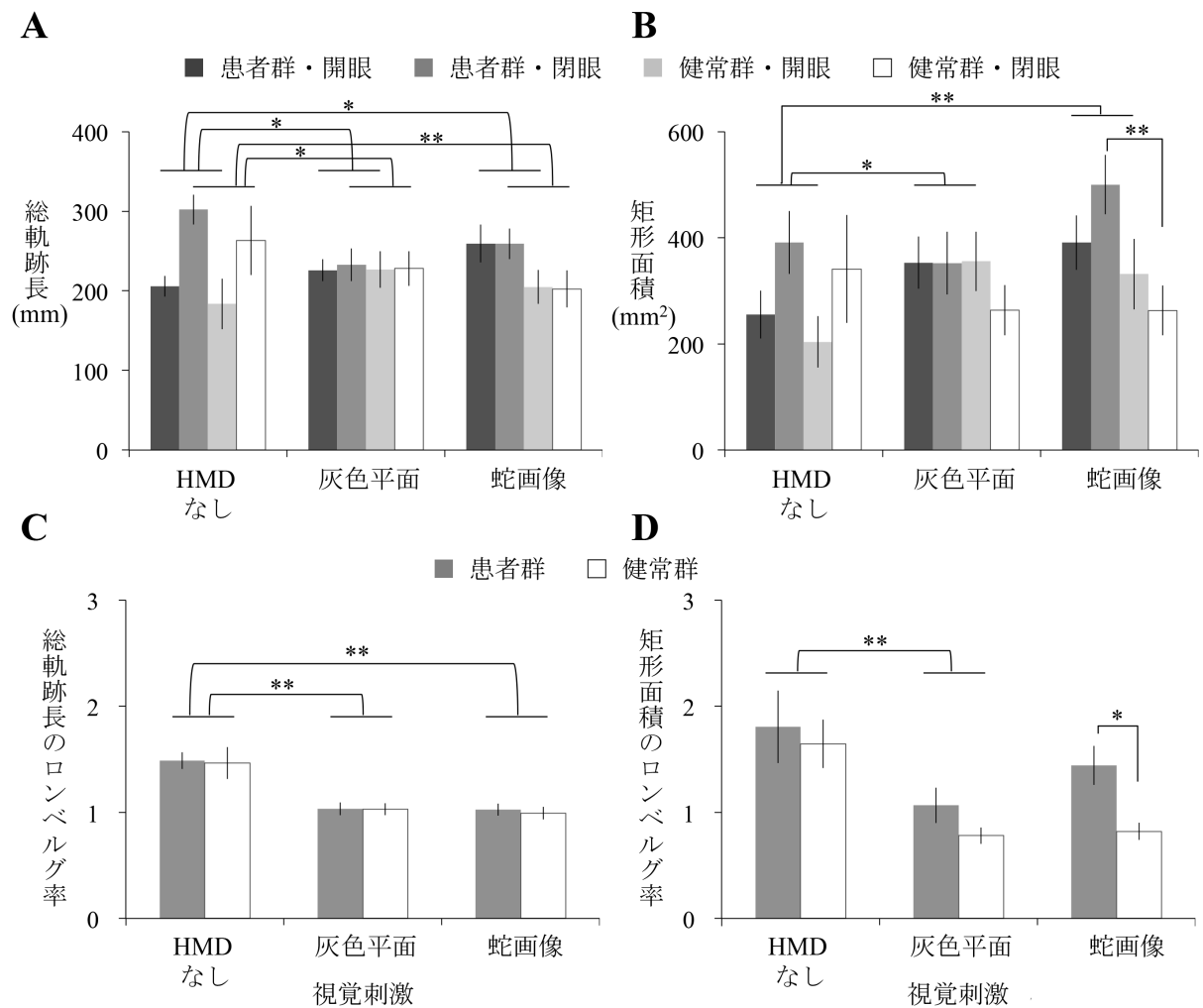


図 16. 実験 1 の片頭痛患者群と健常群における各刺激条件の (A) 総軌跡長, (B) 矩形面積, (C) 総軌跡長のロンベルグ率, (D) 矩形面積のロンベルグ率. 誤差範囲は±1 標準誤差を示す. *は $p < 0.05$ の, **は $p < 0.01$ の差を示す

3.2.3. 考察

灰色平面と蛇画像とで開眼条件の総軌跡長の差が認められなかった一方、HMD なし条件は灰色平面・蛇画像よりも開眼時の総軌跡長が大きかった。また総軌跡長のロンベルグ率もHMD なし条件で高かった。この傾向は矩形面積でも同様だった。ただしロンベルグ率におけるHMD なし条件と蛇画像条件の間を除く。これらから、運動錯視の有無を問わず、HMD による静止視覚刺激の観察は重心動揺を増大させることが示唆され、これは先行研究と整合する (Hakkinen et al., 2002)。

片頭痛の効果について、総軌跡長では群間の相違は認められなかった。しかし患者群では、運動錯視を誘発する蛇画像の観察中には重心動揺が増大しなかったが、観察後の閉眼条件において矩形面積が増大することが認められた。この結果には三つの説明が想定された。

第一に、片頭痛患者は健常者よりも運動残効を強く知覚することから (Shepherd, 2006b)、運動錯視の残効が患者群の重心動揺を増大させた可能性がある。実際に運動残効は重心動揺を惹起することが、水平方向の運動ランダムドット刺激を用いて健常者対象で実証されている (Holten et al., 2014)。

第二に、視覚的不快またはストレスそれ自体が重心動揺を増大させた可能性がある。片頭痛患者では格子模様などの刺激から視覚的不快 (Marcus & Soso, 1989) や頭痛発作 (Harle et al., 2006) が誘発されやすい。こうした反応は、視覚システムの観点からは不自然である刺激の空間的特性が (Fernandez & Wilkins, 2008; Juricevic et al., 2010; O'Hare & Hibbard, 2011; Penacchio & Wilkins, 2015)、視覚皮質を過度に賦活させるためである (Haigh et al., 2012; Huang et al., 2003; Huang et al., 2011)。本実験で用いた蛇画像も高コントラストの幾何学的パターンを含んでおり、蛇画像観察中に視覚的不快や疲労、それらに応じた皮質応答を誘発した可能性がある。推測だが、こうした応答が閉眼条件まで持続して重心動揺を誘発した可能性があるかもしれない。

第三に、片頭痛患者は閉眼時に重心動揺が増大しやすいこと (Carvalho et al., 2013; Ishizaki et al., 2002; Teggi et al., 2009) が単純に影響したのかもしれない。

これらの可能性を検討するために、実験 2 では開眼・閉眼条件の間に 30 秒間の休止を設けた。これにより開眼条件の運動残効やそれに付随した影響が閉眼条件に及ぶことを打ち消す。もし実験 1 で見られたような閉眼時の重心動揺の増大が運動残効や視覚的不快によるものなら、休止を設けることでこの重心動揺の増大が認められなくなることが予想された。

3.3. 実験 2

運動錯視に付随する運動残効が重心動揺を増大させたかを検討するため、実験 2 では開眼条件と閉眼条件の測定間に休憩をとることで残効の効果を打ち消す。残効が消えれば閉眼時の重心動揺は減ると予想された。さらに蛇画像に類似するが運動錯視を誘発しにくい統制画像 (図 17) を用いることで、運動錯視が重心動揺を増大・調整するならば、統制画像では蛇画像と同じ結果を示さないことが予想された。

3.3.1. 方法

本項の内容を除けば実験 1 と同様だった。

3.3.1.1. 参加者

片頭痛患者 8 名 (女性 4 名, 平均 21.29 ± 3.09 歳) と慢性頭痛を持たない 14 名の健常群 (女性 7 名, 平均 22.36 ± 2.24 歳) が参加した。全員が実験 1 に参加しなかった。患者のうち 2 名は視覚性前兆を有していた。

片頭痛患者が動揺病にかかりやすいことや (e.g., Cutrer & Baloh, 1992), 片頭痛の有無によらず動揺病にかかりやすい者では姿勢制御が視覚刺激から影響されやすいことから (Smart et al., 2002; Yokota et al., 2005), 実験 2 では片頭痛患者の動揺病傾向も検討した。参加者は、標準化された動揺病傾向質問紙 (Golding, 1998) を実験の前に回答した。患者群と健常群とは差が認められなかった (患者群: 平均 54.88, 標準偏差 38.15; 健常群: 平均 53.06, 標準偏差 30.20; $t(20) = 0.12, p = 0.90, \text{Cohen's } d = 0.05$)。片頭痛患者の特異な前庭機能を検討した先行研究 (Jeong et al., 2010) に比べると、本検討の患者群はやや低く、健常群はやや高い動揺病傾向を示した (患者群: 約 59; 健常群: 約 38。文献中にはグラフのみ記載のため、詳細な数値は不明)。

3.3.1.2. 刺激

実験 1 と同じ灰色平面と蛇画像に、運動錯視の起きにくい図形 (Kitaoka, 2011) を統制画像として用いた (図 17)。統制画像では構成要素の並びが『黒-青-白-黄, 黒-黄-白-青』のように隣接する構成単位の色パッチが逆転する。このため運動錯視信号が打ち消される。各刺激は、中央に注視点が重ねられ、平均輝度を 13.56 cd/m^2 に統一され、HMD 画面内で視角

29×29 度を張るように黒色背景上に呈示された。

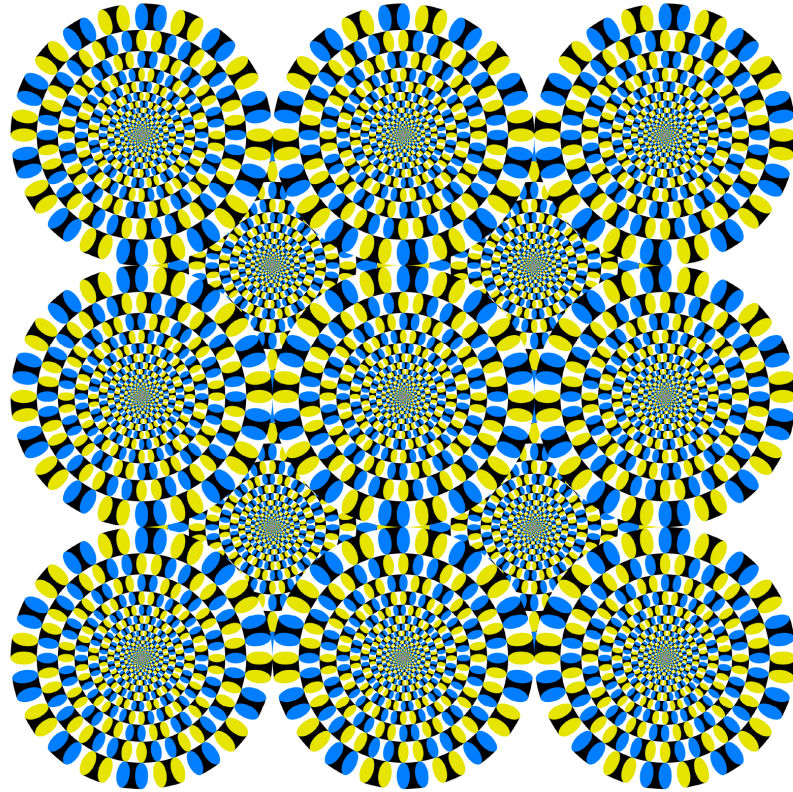


図 17. 実験 2 で用いた統制画像. 作者の許可を得て転載された (Kitaoka, 2011)

3. 3. 1. 3. 手続き

開眼条件の運動錯視知覚の影響が閉眼条件における重心動揺に残らないようにするために、30 秒間の休止を開眼・閉眼条件の間に設けた。休止中には、参加者は重心動揺計に立ったまま HMD 画面上の何も映っていない黒色画面を観察した。休止終了後、参加者は閉眼し、30 秒間重心動揺が測定された。この直後に参加者は、直前の開眼条件で観察していた刺激から知覚された運動錯視の強度を、11 件法 (0-10) により口頭で回答した。0 点は『画像が動いているようにはまったく見えなかった』を、10 点は『画像がきわめて強く動いているように見えた』を意味した。

HMD なし条件と 3 種の刺激を用いる条件で各 1 試行が遂行された。実験 1 と同様に、過度の不快・疲労や片頭痛発作のおそれを減らすために、試行のくり返しを限った。また、運動錯視強度の主観評価のための別試行を設けずに、重心動揺測定セッションに組み込み、事後的に評定をさせた。

3.3.1.4. 分析

総軌跡長と矩形面積に加えて運動錯視の主観評価についても、刺激を参加者内要因 (HMD なし, 灰色平面, 蛇画像, 統制画像), 片頭痛を参加者間要因 (患者群, 健常群) とした反復測定分散分析をおこなった。

3.3.2. 結果

片頭痛患者群と健常群における総軌跡長と矩形面積の結果を図 18 に示す。

3.3.2.1. 総軌跡長

開眼・閉眼条件の総軌跡長およびロンベルグ率への刺激の主効果が認められた (開眼: $F(2.24, 44.70) = 4.16, p < 0.05, \eta^2_p = 0.17$; 閉眼: $F(1.99, 39.87) = 4.68, p < 0.05, \eta^2_p = 0.19$; ロンベルグ率: $F(3, 60) = 15.43, p < 0.01, \eta^2_p = 0.44$). 多重比較の結果, 統制画像を観察した後の閉眼条件では HMD なし条件よりも総軌跡長が短かった ($p < 0.05$). 総軌跡長のロンベルグ率は, HMD なし条件において他のいずれの刺激条件よりも高かった ($ps < 0.01$). 片頭痛の主効果や刺激と片頭痛の交互作用は認められなかった (開眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 20) = 0.49, p = 0.49, \eta^2_p = 0.02$; 閉眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 20) = 1.78, p = 0.20, \eta^2_p = 0.08$; ロンベルグ率への片頭痛の主効果: $F(1, 20) = 2.33, p = 0.14, \eta^2_p = 0.10$; 開眼条件の交互作用: $F(2.24, 44.70) = 2.61, p = 0.08, \eta^2_p = 0.12$; 閉眼条件の交互作用: $F(1.99, 39.87) = 1.96, p = 0.15, \eta^2_p = 0.09$; ロンベルグ率への交互作用: $F(3, 60) = 0.08, p = 0.97, \eta^2_p = 0.00$). 多重比較の結果, 蛇画像観察後の閉眼条件にて, 患者群では健常群よりも総軌跡長が短かった ($p < 0.05$).

3.3.2.2. 矩形面積

開眼・閉眼条件の矩形面積については, 刺激の主効果, 片頭痛の主効果, 刺激と片頭痛の交互作用は認められなかった (開眼条件の刺激の主効果: $F(2.27, 45.43) = 2.54, p = 0.08, \eta^2_p = 0.11$; 閉眼条件の刺激の主効果: $F(2.34, 46.74) = 2.35, p = 0.10, \eta^2_p = 0.11$; 開眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 20) = 0.05, p = 0.83, \eta^2_p = 0.00$; 閉眼条件の片頭痛の主効果: $F(1, 20) = 3.10, p = 0.09, \eta^2_p = 0.13$; 開眼条件の交互作用: $F(2.27, 45.43) = 0.81, p = 0.49, \eta^2_p = 0.04$; 閉眼条件の交互作用: $F(2.34, 46.74) = 1.07, p = 0.37, \eta^2_p = 0.05$).

矩形面積のロンベルグ率では, 刺激の主効果と片頭痛の主効果が認められた (刺激:

$F(1.48, 29.57) = 8.57, p < 0.01, \eta^2_p = 0.30$; 片頭痛: $F(1, 20) = 7.56, p < 0.05, \eta^2_p = 0.27$). 刺激と片頭痛の交互作用は認められなかった ($F(1.48, 29.57) = 0.63, p = 0.60, \eta^2_p = 0.03$). 多重比較は、灰色平面・統制画像条件におけるロンベルグ率が HMD なし条件よりも低いことを示した ($p < 0.05$). 実験 1 とは反対に患者群では蛇画像と統制画像条件のロンベルグ率が健常群より低かった (蛇画像: $p < 0.05$; 統制画像: $p < 0.01$).

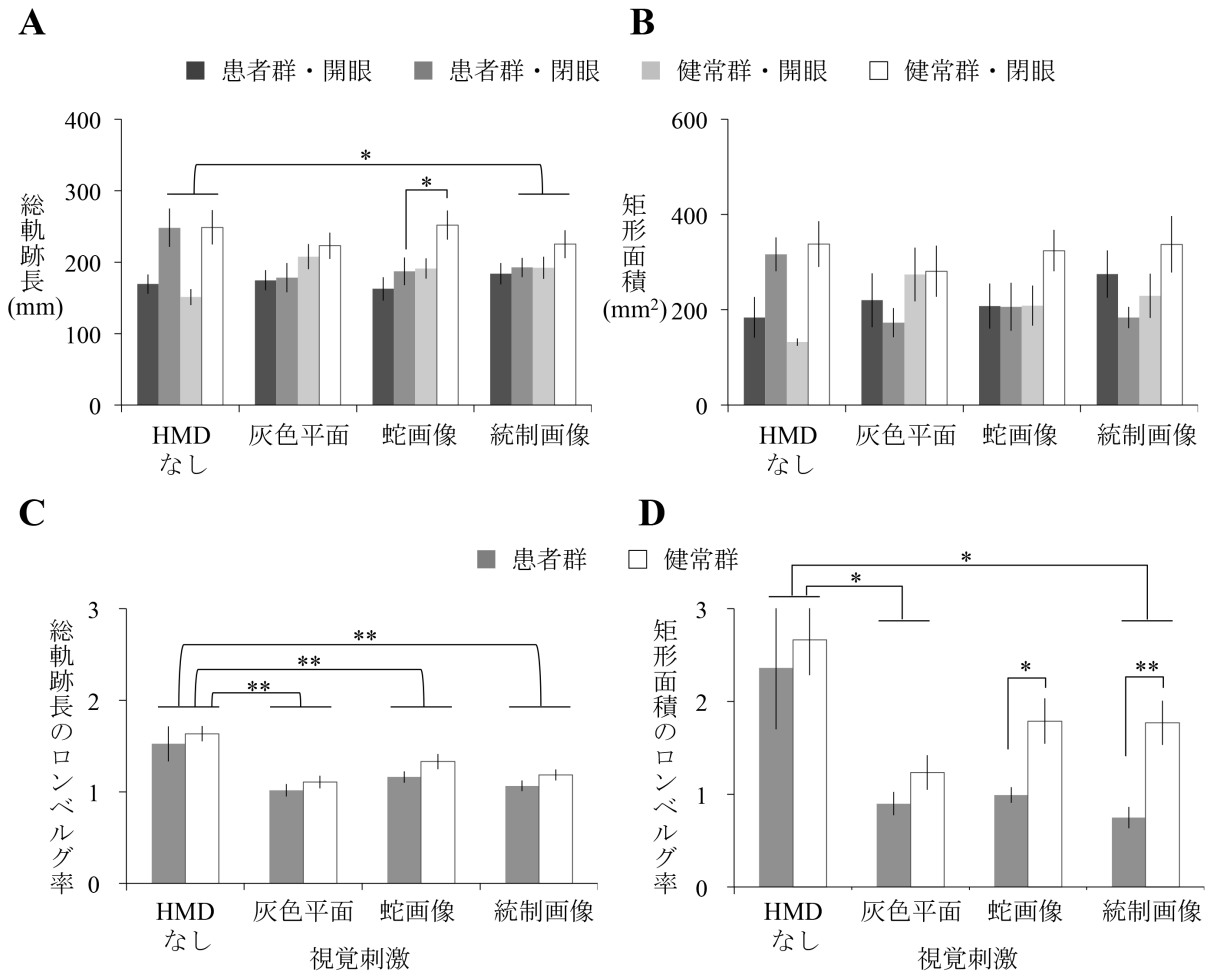


図 18. 実験 2 の片頭痛患者群と健常群における各刺激条件の (A) 総軌跡長, (B) 矩形面積, (C) 総軌跡長のロンベルグ率, (D) 矩形面積のロンベルグ率. 誤差範囲は±1 標準誤差を示す. *は $p < 0.05$ の, **は $p < 0.01$ の差を示す

3. 3. 2. 3. 運動錯視の主観的強度

運動錯視の主観的強度の結果を図 19 に示す. 分散分析の結果, 刺激の主効果が認められた ($F(2, 40) = 24.53, p < 0.01, \eta^2_p = 0.55$). 片頭痛の主効果や刺激と片頭痛の交互作用は認め

られなかった (片頭痛: $F(1, 20) = 0.53, p = 0.48, \eta^2_p = 0.03$; 交互作用: $F(2, 40) = 0.88, p = 0.42, \eta^2_p = 0.04$). 多重比較の結果, 蛇画像は灰色平面と統制画像より, 統制画像は灰色平面より強い運動錯視を誘発した ($ps < 0.01$).

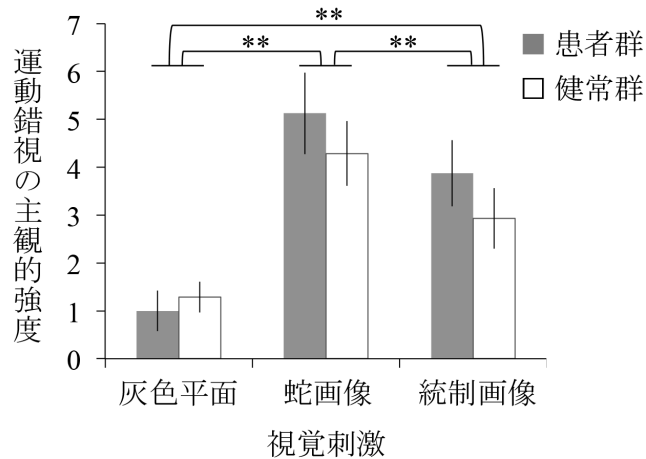


図 19. 実験 2 の片頭痛患者群と健常群における各刺激の運動錯視の主観的強度. 誤差範囲は±1 標準誤差を示す. **は $p < 0.01$ の差を示す

3.3.3. 考察

総軌跡長と矩形面積それぞれのロンベルグ率は, HMD なし条件で他の刺激条件よりも高くなった. ただし蛇画像条件の矩形面積のロンベルグ率を除く. しかし灰色平面・蛇画像・統制画像の間に差は認められなかった. 実験 1 の結果と同様に, 運動錯視の有無を問わず HMD を介した視覚刺激が重心動揺に影響したことが示唆される (Hakkinen et al., 2002).

蛇画像を観察した後の閉眼条件を除けば, 片頭痛患者群と健常群との間に総軌跡長の差は認められなかった. しかし実験 1 の結果とは反対に, 蛇画像と統制画像条件における患者群の低いロンベルグ率は, 蛇画像や統制画像を観察して 30 秒間の休止を経た後に重心動揺が減少していたことを示している. したがって患者群では運動錯視による残効が重心動揺を誘発しうることを示唆する.

刺激の空間的特性による視覚的不快や疲労 (Fernandez & Wilkins, 2008; Wilkins, 1995) も刺激観察後の重心動揺の増大を説明できるかもしれない. 患者群と健常群において, 蛇画像は灰色平面や統制画像よりも強い運動錯視を誘発した. しかし重心動揺の指標は蛇画像と統制画像との相違を示さなかった. さらに統制画像では灰色平面よりも運動錯視強度が高かった

ことから、統制画像の有する幾何学的パターンの反復それ自体がちらつき・ぼやけ・動きを含む視知覚の歪みを惹起した可能性もある。こうした知覚の歪みは運動錯視と異なる知覚であり、実際に片頭痛患者と健常者とで確認されており (Imaizumi et al., 2011; Wilkins, 1995), とりわけ片頭痛患者では視覚皮質の過興奮をとまなう (Huang et al., 2003).

3. 4. 総合考察

3. 4. 1. 検討 2 の主な知見

本検討では、片頭痛患者における重心動揺が、運動錯視をとまなう静止視覚刺激からどのように影響を受けるかを検討した。実験 1 では、片頭痛患者群では運動錯視を誘発する蛇画像 (Kitaoka, 2003, 2011) を観察した後の閉眼条件において、重心動揺が大きくなった。実験 2 では、患者群は蛇画像を観察した後に 30 秒間の休止をとると、その後の閉眼条件では重心動揺が減少した。したがって静止視覚刺激は片頭痛患者において運動錯視を誘発するだけでなく重心動揺も誘発し、その効果は長くとも 30 秒間ほど持続することが示唆された。

片頭痛患者の蛇画像観察後の閉眼時に重心動揺が増大した機序について説明が二つある。第一に、片頭痛患者が運動錯視 (Huang et al., 2003; Imaizumi et al., 2011) や運動残効 (Shepherd, 2006b) を知覚しやすいことを踏まえると、患者群において運動錯視から運動残効が生じ、それが閉眼時まで持続して重心動揺が増大したことが想定される。実際に運動残効が生じたかどうかは推測の域を脱しないが、運動残効それ自体が重心動揺を誘発すること (Holten et al., 2014) がこの仮説の一部を支持しうる。

第二に、患者群において視覚刺激が誘発した不快や疲労が視覚皮質を過剰に賦活させ (Haigh et al., 2012; Huang et al., 2003; Huang et al., 2011; Wilkins, 1995), その亢進が前頭方向の運動視領域や前庭皮質へ伝播 (Della-Justina et al., 2015) した可能性がある。運動錯視観察後の約 30 秒間、こうした特異な神経応答が持続することで重心動揺を誘発したのかもしれない。高コントラストの格子模様は、視覚系にとって不自然な空間周波数特性 (Fernandez & Wilkins, 2008; Imaizumi et al., in press; Imaizumi et al., 2013; Juricevic et al., 2010; O'Hare & Hibbard, 2011; Penacchio & Wilkins, 2015) を有することがあり、顕著な視覚的不快や疲労を片頭痛患者に誘発する (Huang et al., 2003; Huang et al., 2011; Imaizumi et al., 2011). これを踏まえると、本検討で用いた蛇画像と統制画像も高コントラストの格子模様の繰り返しを有していたため、視覚的不快・疲労に由来した重心動揺を片頭痛患者に顕著に誘発した可能性が

ある。しかし、健常者においても特定の刺激が視覚的不快を生じさせることがあり (Conlon et al., 1999; Fernandez & Wilkins, 2008), こうした重心動揺は片頭痛患者に限らず健常者にも生じるかもしれない。しかし現状では、どれくらいの長さ・強度で視覚的不快が重心動揺を増大させるかについては開眼・閉眼時のいずれについても検討されていない。今後は、上記の仮説を検証する必要がある。こうした研究は、視覚・前庭機能・姿勢制御の基礎的知見を蓄積すると同時に、片頭痛の理解にも貢献するであろう。

3.4.2. 重心動揺の総軌跡長と矩形面積

患者群と健常群の差が認められたのはほとんどが矩形面積だった。一般に総軌跡長は、重心の移動頻度すなわち細かな揺れを示し、自己受容感覚や運動システムからの影響を反映しやすい (Mauritz & Dietz, 1980)。他方で矩形面積は、大きな揺れを示し、前庭機能からの影響を反映しやすい (Kapteyn & de Wit, 1972)。したがって患者群では運動錯視刺激が視覚系だけでなく前庭機能にも影響して、閉眼時に大きな揺れをともなって現れたことが推測される。本検討で見られた重心動揺の特徴は、片頭痛患者は閉眼時に健常者よりも矩形面積を増大させるが総軌跡長には相違が認められなかった Ishizaki et al. (2002) の報告とも整合する。

3.4.3. 運動錯視観察『後』の重心動揺への影響

本検討では運動錯視刺激を観察している最中に重心動揺が増大しなかった。この理由について三つの説明が考えられる。

第一に、運動錯視刺激は視覚誘導性自己運動感覚を生起させたかもしれないが (Seno et al., 2013), 実際の自己運動すなわち身体の揺れを誘発するには至らなかった。ただしこの案は、重心動揺が運動エネルギーをとまなう動的視覚刺激によってのみ誘発されることを示唆するため、運動残効で重心動揺が生起すること (Holten et al., 2014) と不整合である。

第二に、HMD の約 420g の重さが姿勢制御に影響して、刺激や運動錯視の効果を弱めてしまい、刺激間の差が現れにくかった可能性がある。実際 HMD から視覚刺激を観察する条件では、テレビ画面から観察する条件に比べると姿勢が不安定になりやすいという報告もある (Hakkinen et al., 2002)。

最後に、不快感情処理が姿勢制御に影響した可能性である。凄惨・不潔な情景などの情動喚起画像に誘発される嫌悪や (Azevedo et al., 2005; Hagens et al., 2014; Hillman et al., 2004;

Stins & Beek, 2007) 痛みの想起 (Lelard et al., 2013) は重心動揺を減少させる。こうした負の心理的・身体的状態に対して身体が硬直するかのような反応は、多くの動物種に見られる防衛反応『フリージング』の現れとされる (Blanchard et al., 1986)。本検討では運動錯視刺激を観察している時に重心動揺が増大しなかったことから、高コントラストのパターンが誘発する視覚的不快 (e.g., Wilkins, 1995) がフリージング様の身体反応を起こし、運動錯視による重心動揺の増大を相殺したとも考えられる。しかし本実験では視覚的不快の主観評価をしていないため、推測の域は脱しない。今後の研究では方法上の問題を解決し、視覚的不快と運動錯視の影響を独立して操作できるような検討をする必要がある。そうすることで片頭痛の理解を深め、さらに感情処理と姿勢制御の相互作用についても新しい視座を与えるであろう。

3.4.4. 実験1と実験2の相違

実験1と2とでは、開眼条件と閉眼条件の間に30秒間の休止を加えたことと視覚刺激および試行の数を除けば、方法は同一だった。しかし運動錯視・残効の影響以外にも、実験1と2にいくつかの点で相違が認められた。開眼条件の結果について実験1と2を比べてみると、実験2のほうが総軌跡長や矩形面積が高い値を示していることが見て取れる。しかし実験1と2の主な相違は開眼・閉眼条件間の休止の有無であり、理想的には実験間の相違は『閉眼』条件に見られるはずである。

考えうる説明を二つ挙げる。まず、実験1と2とでは参加者の重複がなかったため、視覚刺激に駆動される重心動揺には個人差が大きいこと (Akiduki et al., 2003) が実験間の相違につながったと予想される。もう一つは、動揺病にかかりやすい者では視覚由来の重心動揺の増大が顕著であることから (Smart et al., 2002; Yokota et al., 2005)、動揺病傾向が重心動揺の増減に影響したかもしれない。しかし実験1の参加者は動揺病質問紙 (Golding, 1998) に回答しなかったため、この仮説については今後の検討が待たれる。

3.4.5. 検討2の限界

本検討にはいくつかの欠点がある。まず、視対象の運動方向は増大する重心動揺の方向を一致することが知られていたが (Bronstein, 1986; Lee & Lishman, 1975)、本検討で用いた運動錯視の回転方向が参加者の冠状面に対して平行だったため、運動錯視の方向・強度と重心動揺の前後左右の対応の検討ができなかった。

さらに蛇画像の運動錯視は回転運動であるため、ある箇所の運動方向は、別の箇所の反対方向の運動と相殺しあうかもしれない。もしそうなら、蛇画像全体としての運動錯視量は減弱し、その結果、重心動揺が一定方向に偏りにくくなるかもしれない。実験 1 と 2 それぞれの総軌跡長の結果について、重心軌跡の前後方向と左右方向の移動距離に細分して、前後・左右の軌跡長の比を算出したところ、患者群と健常群のいずれにおいても刺激間の相違は認められなかった (刺激の主効果: $F_s \leq 3.91, p_s \geq 0.06, \eta^2_{ps} \leq 0.17$; 片頭痛の主効果: $F_s \leq 0.11, p_s \geq 0.74, \eta^2_{ps} \leq 0.01$)。本検討で用いた視覚刺激は、重心動揺の量を増減させたが、揺れの方向を偏らせる効果を持たなかったことを示唆する。Holten et al. (2014) のように、冠状面を左右いずれかの方向に一樣な運動をするランダムドット刺激は、顕著に重心動揺の方向を操作すると考えられる、今後は、前後または左右の方向に運動する錯視刺激を用いることで、運動錯視に誘発される重心動揺の量と方向を詳細に検討することが必要であろう。

視対象との距離が近いほど自己と外界 (i.e., 視対象) との距離を参照しやすく、姿勢制御がしやすい (Kapoula & Le, 2006)。そのため、参照するための情報 (e.g., 奥行き) が視力減弱により阻害されると、姿勢制御を困難にする (Paulus et al., 1984)。本検討の実験 1 と 2 では、灰色平面刺激を用いた条件をベースラインと捉えていた。しかし一樣な灰色平面は視対象として注視点しか持たず、自己と視対象との空間的位置 (i.e., 距離) を参照するには不十分であり姿勢制御を阻害した可能性がある。そのため灰色平面と蛇画像・統制画像の差異を認めにくかったのかもしれない。灰色平面の代わりに、空間周波数特性や感情価を統制した風景画像や、蛇画像の輝度情報の位相を無作為化したノイズ画像を用いることでこの問題を解消できるかもしれない。こうした画像は視対象となるものが多く、視対象との距離の参照しやすさの点で、蛇画像・統制画像と整合的であろう。

本検討では、長時間の実験参加や刺激観察により参加者に過度の不快・疲労や片頭痛発作 (Harle et al., 2006; Wilkins, 1995) が生じないようにするため、各実験条件で 1 試行ずつという計画だった。同様の倫理的配慮から、運動錯視強度の主観評価を刺激観察中におこなうセッションを設けず、観察終了から約 60 秒後におこなうことで実験時間を短縮させた。しかし視覚性の重心動揺の個人差 (Akiduki et al., 2003) や事後的な知覚判断の不正確さを踏まえると、今後は、被験者数を増やしたり試行間の休憩を十分にとったりすることで、反復試行や、運動錯視強度の主観評価の別セッションを設けることで精緻な検討をする必要がある。

3.4.6. 検討2の要約と展望

本検討では、運動錯視が片頭痛患者と健常者の姿勢制御にどのように影響するかを調べた。静止視覚刺激を観察することで生じる運動錯視、運動残効、視覚的不快・疲労が、片頭痛患者において重心動揺を誘発する可能性を示唆した。しかしこれらの要因の効果を独立させて検討できておらず、詳細な検討が待たれる。片頭痛患者の特性たとえば視覚の過敏性、動揺病傾向や前庭性症状なども考慮において、今後はより慎重に検討を進める必要がある。

本検討では中心・周辺視の違いや眼球運動については検討しなかった。本検討で用いた視角 29×29 度の刺激は中心視と周辺視を区別しないものだった。周辺視は中心視に比べると、低次の運動処理感度が高いだけでなく (Nakayama, 1985)、自己運動を知覚させたり姿勢制御に寄与したりするような情報をオプティックフローのような動的視覚刺激から抽出しやすい (Brandt et al., 1973; Stoffregen, 1985)。そのため周辺視に与えた動的刺激は、中心視に与えた場合よりも重心動揺を強く誘発する (Amblard & Carblanc, 1980; Berencsi et al., 2005; Nougier et al., 1997)。片頭痛患者では、周辺視のコントラスト感度低下 (McKendrick & Sampson, 2009) や、中心視に特化した方向知覚の感度低下 (McKendrick et al., 2001) が知られている [ただし研究間で知見が一致しない (O'Hare & Hibbard, 2015)]。以上を踏まえると、今後は中心視と周辺視の効果を検討することで、片頭痛の知覚特性の理解に迫れるかもしれない。

実験1と2ともに参加者は刺激の注視点を観察していた。したがって、注視中の固視微動のうちマイクロサッカードが蛇画像による運動錯視に影響しえたが (Otero-Millan et al., 2012)、固視微動に片頭痛患者の特異性はないこと (Wilkinson et al., 2006) を踏まえると、本検討では影響しづらかったと考えられる。しかしサッカードで運動錯視が増強することや (Kuriki et al., 2008; Murakami et al., 2006)、片頭痛患者において追従性眼球運動 (Wieser et al., 2004) やサッカード (Cambron et al., 2011; Harno et al., 2003) の特異性が報告されていることから (ただし未だ論争上にある。1.4.6. 参照のこと)、今後は運動錯視と重心動揺の関連を調べる際にサッカードなどの眼球運動を要因に加えることで、片頭痛患者の多面的な理解につながるかもしれない。

4. 結論

4.1. 要約

視覚刺激に誘発される不快感と身体動揺のそれぞれを検討1と検討2で調べた。視覚刺激に過敏だったり前庭系に特異性があったりする片頭痛患者に焦点を当て、健常者と比べた。

検討1では、片頭痛患者の描いた絵画に視覚的不快に寄与する空間周波数特性が表出するかどうかを画像解析に基づいて検討した。過去に、空間周波数中域が強調された刺激が視覚的不快を誘発しやすいこと、こうした傾向が幾何学的パターン (Wilkins et al., 1984), 絵画 (Fernandez & Wilkins, 2008), 風景画像 (e.g., Imaizumi et al., 2013) といった幅広い次元の視覚刺激に認められることが示されていた。検討1の結果、片頭痛患者の描いた **Migraine art** 画像は空間周波数中域成分を顕著に含んでいた。同様に、片頭痛を有していると語られていた Picasso, van Gogh, de Chirico の **Possible-migraine art** 画像にも、片頭痛を有していなかったであろう画家の **Non-migraine art** 画像と比べて中域成分が顕著に含まれていた。また不自然な空間周波数スペクトル傾斜は審美的価値を低めるが (Juricevic et al., 2010), **Migraine art** はより不自然な傾斜を、**Possible-migraine art** はより自然な傾斜を示した。結果から、片頭痛を持つ画家は、本人が視覚的不快を経験しやすいにも関わらず視覚的不快に寄与する空間的特性を応用していること、ならびに巨匠と呼ばれるような画家は同時に審美性も高めるような操作をおそらく無意識的に絵画に加えている可能性が示唆された。**Migraine art** の研究は質的なものに留まっていたが (Podoll & Robinson, 2008), 本研究では画像統計量を用いることで量的に **Migraine art** の特性の一部を示した。

検討2では、片頭痛患者における重心動揺が、運動錯視をともなう静止視覚刺激からどのように影響を受けるかを実験に基づいて検討した。片頭痛患者は視覚的不快を感じやすいだけでなく運動錯視様の視知覚の歪みを経験しやすく (e.g., Imaizumi et al., 2011), 動揺病などの前庭症状にかかりやすい (e.g., Marcus et al., 2005). こうした知見から推測された視覚-前庭連合の特異性を、運動錯視刺激に用いて身体の揺れ (重心動揺) を片頭痛患者と健常者において計測した。実験1では、片頭痛患者群では回転運動錯視を誘発する画像 (Kitaoka, 2003) を観察した後の閉眼条件において、重心動揺が増大した。実験2では、患者群は錯視画像を観察した後に30秒間の休止をとると、その後の閉眼条件では重心動揺が減少した。結果から、静止視覚刺激は片頭痛患者において運動錯視を誘発するだけでなく重心動揺も誘

発し、その効果は長くとも 30 秒間ほど持続することが示唆された。

4. 2. 展望

4. 2. 1. 光過敏性を配慮した生活環境デザインを目指して

先行研究は、視覚的不快を生む刺激特性、視覚的不快の生理的機序、視覚的不快を受けやすい光過敏性のある人々の特性の解明を目指して、1970年代から現在まで心理物理学的・神経生理学的にヒトや霊長類モデルを用いて検討してきた。こうした基礎研究の蓄積は、片頭痛を寛解させるためだけでなく、片頭痛患者など視覚的不快を受けやすい人々を理解し、その理解を広く社会に認知させることにも貢献するであろう。映像の誘発する視覚的不快に関するガイドラインは、多数の光過敏性発作の被害を出した事件 (e.g., ポケモン事件) を発端として策定されたが (e.g., 日本民間放送連盟, 2006), 現状では画像や絵画といった静止視覚刺激に関するガイドラインはまだない。視覚的不快の機序や片頭痛患者の知覚特性の理解が進めば、視覚伝達デザインや生活環境デザインのガイドラインの基礎となるだろう。

たとえば全環境から格子模様を排除するなどの極端な施策ではなく、公共施設・医療施設など、視覚的不快にかかりやすい者が訪れやすい場所では視覚的不快を誘発させない配慮をするなど、適材適所の施策が望まれる。心理学者として、施策の効果を観察研究で検証することで貢献できるのではなかろうか。観察研究の一例として、医療施設の室内採光や照明を変えることでどれほど精神疾患患者の入院日数が減るかを調べた検討がある (Beauchemin & Hays, 1996; Eastman et al., 1998)。これを踏まえると、たとえば視覚的不快を誘発しにくい環境では、滞在時間が増えたり光過敏性を有する者の来訪数が増えたりすることが予想される。

国内でも片頭痛患者に適した照明条件や (Okuda et al., 2012) や環境音 (Ishikawa et al., 2015) を探索する試みが近年はじまっている。本研究も含めて、光過敏性や片頭痛を配慮した生活環境デザインの一助となる基礎研究を、デザイン学・感性工学・心理学がともに推進していく必要がある。

4. 2. 2. 描画の画像解析研究による基礎・応用研究への貢献

これまでの視覚的不快研究で見落とされてきた観点として本研究が問題提起したのは、検討 1 で試みたような、視覚的不快を感じやすい人々の出力する視覚対象 (e.g., 絵画) にどのように知覚特性が表現されるかという点だった。古典的な心理検査として描画 (e.g., Koch,

1957) が用いられてきたが, Graham and Meng (2011) や Iwamitsu et al. (2013) のように描画を画像解析することで患者の特性・状態を知ろうとする研究が新たな視座を与えた. 2015年現在, 後続する研究はほとんどない. 今後は, 臨床群と健常群を問わず, 知覚特性やパーソナリティと描画特性との関連について基礎知見を蓄積していけば, 診断法や心理測定法の開発に発展させられるかもしれない. こうした案は, 視覚的不快や片頭痛に限らず, 特異な知覚処理がともなう自閉スペクトラム障害 (Happé, 1999) や, 低空間周波数感度異常や自他帰属障害がともなう統合失調症 (Silverstein & Keane, 2011) にも応用できると予想され, この意味で社会的にも意義深い. 描画を画像解析する方策は, 被験者実験ではコンピュータ制御した装置で描画課題をしやすく, 画像解析についての既往の知見が豊富であることから, 実践的・技術的にも実現しやすいと予想する.

将来的には, この研究方針で描画からの心理測定が可能になれば, デザイナの個人差や創造性といったデザイン学研究にも貢献できると考えている. 上述の臨床応用と同様に描画とデザイナーのパーソナリティとの関連を知ることで, デザイン学の基礎研究やデザイン教育に役立てることができるかもしれない. また, たとえば鑑賞者は絵画から画家の経験値をある程度弁別できることが心理実験から示されており (Hawley-Dolan & Winner, 2011), 描画内容と他者評価にもとづく審美性との関連という点からも, デザインや芸術の基礎研究や実地応用に発展させられるかもしれない. さらにその先では, 音楽・発声といった他感覚モダリティに検討を拡張しても基礎・応用研究のいずれにも意義深い.

4. 2. 3. 感覚モダリティ間および感情との相互作用

検討2では片頭痛患者の運動錯視と重心動揺の関連を調べた. 運動錯視様の視知覚の歪み (Huang et al., 2003) や動揺病等の前庭症状 (Marcus et al., 2005) がそれぞれ指摘されていたが, それらが相互作用を起こすかどうかについては, 申請者の知る限り未検討だった. 近年では多感覚統合の研究の発展が目覚ましく (e.g., Calvert, Spence, & Stein, 2004), さらに最近では片頭痛患者の多感覚統合研究を推進すべきであると指摘されている (Schwedt, 2013). 著者によれば, 光過敏の強度が頭痛の強度と相関する (Kelman & Tanis, 2006) ことが, 片頭痛患者における視覚と体性感覚の統合処理の特異性を示唆する. 本研究では扱わなかったが, 片頭痛患者は特定の周波数・音圧の聴覚刺激に不快を感じやすかったり片頭痛発作の誘因になったりすることが知られており (Ashkenazi et al., 2009; Ishikawa et al., 2015; Vingen et al.,

1998), また, 視聴覚刺激の時間的連合が片頭痛患者で亢進していることが示唆するように (Yang et al., 2014), 光過敏と音過敏は共起しやすい (Merikangas et al., 1994). 今後は視覚と聴覚の関連について片頭痛患者においてより詳細に検討されるべきであろう. 独立して調べられていた片頭痛症状を包括的に検討することで, 片頭痛の随伴症状の理解とそれにもとづく臨床応用に貢献するだけでなく, 多感覚統合の基礎的知見の蓄積にも貢献する.

検討2で扱った重心動揺は, 視知覚だけでなく, 感情状態とも相互作用する. デザイン学や感性工学の研究において, 印象・審美・選好を検討するうえで重心動揺を客観指標として応用できるかもしれない. 感情は生存のために身体運動を駆動する機能であると言われてきたように (Darwin, 1872), たとえば闘争的な感情は前方への重心動揺 (i.e., 接近) を, 恐怖は後方への重心動揺 (i.e., 回避) を惹起する (Azevedo et al., 2005; Facchinetti et al., 2006; Hillman et al., 2004; Stins & Beek, 2007). この研究の流れを受けて近年では, 他者の笑顔 (Miles, 2009) や嗜好する食物 (Brunye et al., 2013) の観察中に前方への重心動揺が増大すること, すなわち陽性感情による姿勢の調整が報告されている [ただし否定的な報告もある (Perakakis et al., 2012)]. 製品・絵画などの視覚刺激や音楽・環境音などの聴覚刺激を用いた主観評定に重心動揺客観指標を加えることで, 検討の幅が広がるであろう. また, 消費者行動研究においては, 対象への選好度を調べることもできるかもしれない. 現在, 安価に Wii Balance Board (Nintendo) を購入することができるが, これを用いた重心動揺計測の妥当性と信頼性が若年者と高齢者で確認されており (Chang et al., 2013; Clark et al., 2010), 心理学・理学療法学・神経科学などで応用され始めている. 上述の展望が現実味を帯びてきている.

謝辞

本論文の審査員および指導教員である千葉大学大学院工学研究科デザイン科学専攻デザイン心理学研究室の日比野治雄教授と小山慎一准教授は、学部時代から今までの約9年間、研究や学生生活全般について懇切丁寧にご指導くださいました。深謝いたします。

同大学院融合科学研究科情報科学専攻の矢口博久教授と同大学院工学研究科デザイン科学専攻人間生活工学研究室の下村義弘教授は、これまでに研究会や授業にて懇切丁寧なご指導をくださったのみならず本論文の審査員も務めてくださり、数多くの建設的なご意見をくださいました。同大学院融合科学研究科情報科学専攻の溝上陽子准教授と同大学院工学研究科デザイン科学専攻人間情報科学研究室の石橋圭太准教授も、研究会や授業にてご指導をくださったのみならず本論文発表会にて建設的なご意見をくださいました。深謝いたします。

両親と義父母ならびに妻である同研究科デザイン科学専攻環境デザイン研究室の今泉博子助教の温かい支援は、研究生生活の基盤を作ってくださいました。深謝いたします。

NTT コミュニケーション科学基礎研究所の浅井智久博士、昭和大学の本間元康博士、広島大学の金山範明助教、静岡大学の青山郁子准教授からは、共同研究にて懇切丁寧なご指導や刺激的な議論の機会をいただきました。深謝いたします。

千葉大学修了生・在学生の安積直人氏、岩谷明氏、氏家悠太氏、小川浩之氏、神宮勇太郎氏、鈴木温子氏、須永恵理氏、高德淳氏、高橋侑里氏、陳柏君氏、辻田匡葵氏、永井一成氏、朴京子氏、古野真菜実氏、前田香奈氏、山田桃子氏、吉田尚央氏、李晴香氏（五十音順）には共同研究や研究会において大変お世話になりました。深謝いたします。

本研究の一部は、小山慎一准教授（19730467, 21730586, 23330218）と今泉修（13J00943）に対する文部科学省・科学研究費補助金の助成を受けて遂行されました。

参考文献

- 3D コンソーシアム (2010). 人に優しい 3D 普及のための 3DC 安全ガイドライン. Retrieved from http://www.3dc.gr.jp/scmt_wg_rep/guide_index.html
- Akiduki, H., Nishiike, S., Watanabe, H., Matsuoka, K., Kubo, T., & Takeda, N. (2003). Visual-vestibular conflict induced by virtual reality in humans. *Neuroscience Letters*, *340*(3), 197-200.
- Alpern, M. (1972). Eye movements. In D. Jameson & L. Hurvich (Eds.), *Visual Psychophysics* (Vol. 7, pp. 303-330): Springer Berlin Heidelberg.
- Amblard, B., & Carblanc, A. (1980). Role of foveal and peripheral visual information in maintenance of postural equilibrium in man. *Perceptual and Motor Skills*, *51*(3), 903-912.
- Andreatta, M., Puschmann, A. K., Sommer, C., Weyers, P., Pauli, P., & Muhlberger, A. (2012). Altered processing of emotional stimuli in migraine: an event-related potential study. *Cephalalgia*, *32*(15), 1101-1108.
- Annett, J. (2002). Subjective rating scales: science or art? *Ergonomics*, *45*(14), 966-987.
- Anthony, M., Hinterberger, H., & Lance, J. W. (1967). Plasma serotonin in migraine and stress. *Archives of Neurology*, *16*(5), 544-552.
- Ashida, H., Kuriki, I., Murakami, I., Hisakata, R., & Kitaoka, A. (2012). Direction-specific fMRI adaptation reveals the visual cortical network underlying the "Rotating Snakes" illusion. *Neuroimage*, *61*(4), 1143-1152.
- Ashkenazi, A., Mushtaq, A., Yang, I., & Oshinsky, M. L. (2009). Ictal and interictal phonophobia in migraine: a quantitative controlled study. *Cephalalgia*, *29*(10), 1042-1048.
- Aurora, S. K., Ahmad, B. K., Welch, K. M., Bhardhwaj, P., & Ramadan, N. M. (1998). Transcranial magnetic stimulation confirms hyperexcitability of occipital cortex in migraine. *Neurology*, *50*(4), 1111-1114.
- Aurora, S. K., & Welch, K. M. (2000). Migraine: imaging the aura. *Current Opinion in Neurology*, *13*(3), 273-276.
- Aurora, S. K., & Wilkinson, F. (2007). The brain is hyperexcitable in migraine. *Cephalalgia*, *27*(12), 1442-1453.
- Ayles, D. (2006). Jesmond Barn. *Bright and Bold*. Retrieved from <http://www.debbieaylesartist.co.uk/bright-and-bold.html>
- Azevedo, T. M., Volchan, E., Imbiriba, L. A., Rodrigues, E. C., Oliveira, J. M., Oliveira, L. F., Lutterbach, L. G., & Vargas, C. D. (2005). A freezing-like posture to pictures of mutilation. *Psychophysiology*, *42*(3), 255-260.
- Bååth, R., Seno, T., & Kitaoka, A. (2014). Cats and illusory motion. *Psychology*, *5*(9), 1131-1134.
- Backus, B. T., & Oruc, I. (2005). Illusory motion from change over time in the response to contrast and luminance. *Journal of Vision*, *5*(11), 1055-1069.

- Bayazit, Y., Yilmaz, M., Mumbuc, S., & Kanlikama, M. (2001). Assessment of migraine-related cochleovestibular symptoms. *Revue de Laryngologie Otologie Rhinologie*, 122(2), 85-88.
- Beauchemin, K. M., & Hays, P. (1996). Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions. *Journal of Affective Disorders*, 40(1-2), 49-51.
- Benedek, K., Tajti, J., Janaky, M., Vecsei, L., & Benedek, G. (2002). Spatial contrast sensitivity of migraine patients without aura. *Cephalalgia*, 22(2), 142-145.
- Berencsi, A., Ishihara, M., & Imanaka, K. (2005). The functional role of central and peripheral vision in the control of posture. *Human Movement Science*, 24(5-6), 689-709.
- Binnie, C. D., Findlay, J., & Wilkins, A. J. (1985). Mechanisms of epileptogenesis in photosensitive epilepsy implied by the effects of moving patterns. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 61(1), 1-6.
- Birren, J. E. (1945). Static equilibrium and vestibular function. *Journal of Experimental Psychology*, 35(2), 127-133.
- Blakemore, C., & Campbell, F. W. (1969). On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. *Journal of Physiology*, 203(1), 237-260.
- Blanchard, R. J., Flannelly, K. J., & Blanchard, D. C. (1986). Defensive behaviors of laboratory and wild *Rattus-Norvegicus*. *Journal of Comparative Psychology*, 100(2), 101-107.
- Blanke, O., & Landis, T. (2003). The metaphysical art of Giorgio de Chirico. Migraine or epilepsy? *European Neurology*, 50(4), 191-194.
- Bles, W., Kapteyn, T. S., & de Wit, G. (1977). Effects of visual-vestibular interaction on human posture. *Advances in Oto-Rhino-Laryngology*, 22, 111-118.
- Bonato, F., Bubka, A., Ishak, S., & Graveline, V. (2011). The sickening rug: a repeating static pattern that leads to motion-sickness-like symptoms. *Perception*, 40(4), 493-496.
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, 45(4), 602-607.
- Brandt, T., Dichgans, J., & Koenig, E. (1973). Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception. *Experimental Brain Research*, 16(5), 476-491.
- Bronstein, A. M. (1986). Suppression of visually evoked postural responses. *Experimental Brain Research*, 63(3), 655-658.
- Brown, J. L., & Mueller, C. G. (1965). Brightness discrimination and brightness contrast. In C. H. Graham (Ed.), *Vision and Visual Perception* (pp. 208-250). Oxford, United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Brown, P. K., & Wald, G. (1964). Visual pigments in single rods and cones of the human retina: direct measurements reveal mechanisms of human night and color vision. *Science*, 144(3614), 45-52.
- Brunye, T. T., Hayes, J. F., Mahoney, C. R., Gardony, A. L., Taylor, H. A., & Kanarek, R. B. (2013). Get in my

- belly: food preferences trigger approach and avoidant postural asymmetries. *PLoS ONE*, 8(8), e72432.
- Butler, P. D., & Javitt, D. C. (2005). Early-stage visual processing deficits in schizophrenia. *Current Opinion in Psychiatry*, 18(2), 151-157.
- Calvert, G., Spence, C., & Stein, B. E. (2004). *The Handbook of Multisensory Processes*. London, United Kingdom: MIT press.
- Cambron, M., Anseeuw, S., Paemeleire, K., & Crevits, L. (2011). Saccade behaviour in migraine patients. *Cephalalgia*, 31(9), 1005-1014.
- Campbell, F. W., & Robson, J. G. (1968). Application of Fourier analysis to the visibility of gratings. *Journal of Physiology*, 197(3), 551-566.
- Carvalho, G. F., Chaves, T. C., Dach, F., Pinheiro, C. F., Goncalves, M. C., Florencio, L. L., Ferreira, K. S., Bigal, M. E., & Bevilaqua-Grossi, D. (2013). Influence of migraine and of migraine aura on balance and mobility: a controlled study. *Headache*, 53(7), 1116-1122.
- Cavanagh, P. (2005). The artist as neuroscientist. *Nature*, 434(7031), 301-307.
- Chang, W. D., Chang, W. Y., Lee, C. L., & Feng, C. Y. (2013). Validity and reliability of Wii Fit Balance Board for the assessment of balance of healthy young adults and the elderly. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(10), 1251-1253.
- Chatrjian, G. E., Lettich, E., Miller, L. H., & Green, J. R. (1970). Pattern-sensitive epilepsy: Part 1. An electrographic study of its mechanisms. *Epilepsia*, 11(2), 125-149.
- Chen, P. C., Imaizumi, S., Chang, Y. Y., Chen, Y. H., Hibino, H., & Koyama, S. (2014). Visual discomfort induced by photosensitivity in cataract patients following intraocular lens implant surgery. *International Journal of Affective Engineering*, 13(2), 143-148.
- Chronicle, E. P., & Mulleners, W. M. (1994). Might migraine damage the brain? *Cephalalgia*, 14(6), 415-418.
- Chronicle, E. P., Pearson, A. J., & Mulleners, W. M. (2006). Objective assessment of cortical excitability in migraine with and without aura. *Cephalalgia*, 26(7), 801-808.
- Clark, R. A., Bryant, A. L., Pua, Y., McCrory, P., Bennell, K., & Hunt, M. (2010). Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait and Posture*, 31(3), 307-310.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). New Jersey, United States: Lawrence Earlbaum Associates.
- Cole, G. G., & Wilkins, A. J. (2013). Fear of holes. *Psychological Science*, 24(10), 1980-1985.
- Coleston, D. M., Chronicle, E., Ruddock, K. H., & Kennard, C. (1994). Precortical dysfunction of spatial and temporal visual processing in migraine. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 57(10), 1208-1211.
- Conlon, E. G., Lovegrove, W. J., Barker, S., & Chekaluk, E. (2001). Visual discomfort: the influence of spatial frequency. *Perception*, 30(5), 571-581.

- Conlon, E. G., Lovegrove, W. J., Chekaluk, E., & Pattison, P. E. (1999). Measuring visual discomfort. *Visual Cognition*, 6(6), 637-663.
- Conway, B. R., Kitaoka, A., Yazdanbakhsh, A., Pack, C. C., & Livingstone, M. S. (2005). Neural basis for a powerful static motion illusion. *Journal of Neuroscience*, 25(23), 5651-5656.
- Craig, J., & Baron-Cohen, S. (1999). Creativity and imagination in autism and Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 29(4), 319-326.
- Cucchiara, B., Datta, R., Aguirre, G. K., Idoko, K. E., & Detre, J. (2015). Measurement of visual sensitivity in migraine: validation of two scales and correlation with visual cortex activation. *Cephalalgia*, 35(7), 585-592.
- Cuomo-Granston, A., & Drummond, P. D. (2010). Migraine and motion sickness: what is the link? *Progress in Neurobiology*, 91(4), 300-312.
- Cutrer, F. M., & Baloh, R. W. (1992). Migraine-associated dizziness. *Headache*, 32(6), 300-304.
- Dalkara, T., Nozari, A., & Moskowitz, M. A. (2010). Migraine aura pathophysiology: the role of blood vessels and microembolisation. *Lancet Neurology*, 9(3), 309-317.
- Darwin, C. (1872). *The Expression of the Emotions in Man and Animals (3rd ed.)*. New York, United States: Oxford University Press.
- Della-Justina, H. M., Gamba, H. R., Lukasova, K., Nucci-da-Silva, M. P., Winkler, A. M., & Amaro, E., Jr. (2015). Interaction of brain areas of visual and vestibular simultaneous activity with fMRI. *Experimental Brain Research*, 233(1), 237-252.
- Dichgans, J., & Brandt, T. (1973). Optokinetic motion sickness and pseudo-Coriolis effects induced by moving visual stimuli. *Acta Oto-Laryngologica*, 76(5), 339-348.
- Diener, H. C., Dichgans, J., Bacher, M., & Gompf, B. (1984). Quantification of postural sway in normals and patients with cerebellar diseases. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 57(2), 134-142.
- Drummond, P. D. (2002). Motion sickness and migraine: optokinetic stimulation increases scalp tenderness, pain sensitivity in the fingers and photophobia. *Cephalalgia*, 22(2), 117-124.
- Drummond, P. D. (2005). Triggers of motion sickness in migraine sufferers. *Headache*, 45(6), 653-656.
- Drummond, P. D., & Granston, A. (2004). Facial pain increases nausea and headache during motion sickness in migraine sufferers. *Brain*, 127(3), 526-534.
- Eastman, C. I., Young, M. A., Fogg, L. F., Liu, L., & Meaden, P. M. (1998). Bright light treatment of winter depression: a placebo-controlled trial. *Archives of General Psychiatry*, 55(10), 883-889.
- Edwards, A. S. (1946). Body sway and vision. *Journal of Experimental Psychology*, 36(6), 526-535.
- Emery, A. E. (1997). Medicine, artists and their art. *Journal of the Royal College of Physicians of London*, 31(4), 450-455.

- Emery, A. E. (2004). How neurological disease can affect an artist's work. *Practical Neurology*, 4(6), 366-371.
- Enroth-Cugell, C., & Robson, J. G. (1966). The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *Journal of Physiology*, 187(3), 517-552.
- Facchinetti, L. D., Imbiriba, L. A., Azevedo, T. M., Vargas, C. D., & Volchan, E. (2006). Postural modulation induced by pictures depicting prosocial or dangerous contexts. *Neuroscience Letters*, 410(1), 52-56.
- Fernandez, D., & Wilkins, A. J. (2008). Uncomfortable images in art and nature. *Perception*, 37(7), 1098-1113.
- Ferrari, M. D., & Haan, J. (2000). Migraine aura, illusory vertical splitting, and Picasso. *Cephalalgia*, 20(8), 686.
- Field, D. J. (1987). Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical-cells. *Journal of the Optical Society of America A*, 4(12), 2379-2394.
- Field, D. J., & Brady, N. (1997). Visual sensitivity, blur and the sources of variability in the amplitude spectra of natural scenes. *Vision Research*, 37(23), 3367-3383.
- Fiorentini, A. (1972). Mach band phenomena. In D. Jameson & L. M. Hurvich (Eds.), *Visual Psychophysics* (pp. 188-201). Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg.
- Fischer, E., Bulthoff, H. H., Logothetis, N. K., & Bartels, A. (2012). Visual motion responses in the posterior cingulate sulcus: a comparison to V5/MT and MST. *Cerebral Cortex*, 22(4), 865-876.
- Fraser, A., & Wilcox, K. J. (1979). Perception of illusory movement. *Nature*, 281(5732), 565-566.
- Fuller, G. N., & Gale, M. V. (1988). Migraine aura as artistic inspiration. *British Medical Journal*, 297(6664), 1670-1672.
- Gloor, P., & Fariello, R. G. (1988). Generalized epilepsy: some of its cellular mechanisms differ from those of focal epilepsy. *Trends in Neurosciences*, 11(2), 63-68.
- Golding, J. F. (1998). Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness. *Brain Research Bulletin*, 47(5), 507-516.
- Golding, J. F., & Gresty, M. A. (2005). Motion sickness. *Current Opinion in Neurology*, 18(1), 29-34.
- Gori, S., Agrillo, C., Dadda, M., & Bisazza, A. (2014). Do fish perceive illusory motion? *Scientific Reports*, 4, 6443.
- Goto, F., Tsutsumi, T., & Ogawa, K. (2013). The clinical features of migraine-associated vertigo. *Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*, 116(8), 953-959.
- Graham, D., & Meng, M. (2011). Altered spatial frequency content in paintings by artists with schizophrenia. *i-Perception*, 2(1), 1-9.
- Granziera, C., DaSilva, A. F., Snyder, J., Tuch, D. S., & Hadjikhani, N. (2006). Anatomical alterations of the visual motion processing network in migraine with and without aura. *PLoS Medicine*, 3(10), e402.
- Green, D. G. (1968). The contrast sensitivity of the colour mechanisms of the human eye. *Journal of Physiology*, 196(2), 415-429.
- Guerraz, M., & Bronstein, A. M. (2008). Mechanisms underlying visually induced body sway. *Neuroscience*

Letters, 443(1), 12-16.

- Haan, J., & Ferrari, M. D. (2011). Picasso's migraine: illusory cubist splitting or illusion? *Cephalalgia*, 31(9), 1057-1060.
- Hadjikhani, N., Sanchez Del Rio, M., Wu, O., Schwartz, D., Bakker, D., Fischl, B., Kwong, K. K., Cutrer, F. M., Rosen, B. R., Tootell, R. B., Sorensen, A. G., & Moskowitz, M. A. (2001). Mechanisms of migraine aura revealed by functional MRI in human visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(8), 4687-4692.
- Hagenaars, M. A., Roelofs, K., & Stins, J. F. (2014). Human freezing in response to affective films. *Anxiety Stress Coping*, 27(1), 27-37.
- Haigh, S., Karanovic, O., Wilkinson, F., & Wilkins, A. (2012). Cortical hyperexcitability in migraine and aversion to patterns. *Cephalalgia*, 32(3), 236-240.
- Haigh, S. M., Barningham, L., Berntsen, M., Coutts, L. V., Hobbs, E. S., Irabor, J., Lever, E. M., Tang, P., & Wilkins, A. J. (2013). Discomfort and the cortical haemodynamic response to coloured gratings. *Vision Research*, 89, 47-53.
- Hakkinen, J., Vuori, T., & Paakka, M. (2002). Postural stability and sickness symptoms after HMD use. *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1, 147-152.
- Happe, F. (1999). Autism: cognitive deficit or cognitive style? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(6), 216-222.
- Harding, G. F. A. (1998). TV can be bad for your health. *Nature Medicine*, 4(3), 265-267.
- Harle, D. E., Shepherd, A. J., & Evans, B. J. (2006). Visual stimuli are common triggers of migraine and are associated with pattern glare. *Headache*, 46(9), 1431-1440.
- Harno, H., Hirvonen, T., Kaunisto, M. A., Aalto, H., Levo, H., Isotalo, E., Kallela, M., Kaprio, J., Palotie, A., Wessman, M., & Farkkila, M. (2003). Subclinical vestibulocerebellar dysfunction in migraine with and without aura. *Neurology*, 61(12), 1748-1752.
- Hawley-Dolan, A., & Winner, E. (2011). Seeing the mind behind the art. People can distinguish abstract expressionist paintings from highly similar paintings by children, chimps, monkeys, and elephants. *Psychological Science*, 22(4), 435-441.
- Haysom, R. (2003). Abstract art: pain and discomfort. *Double dialogues*, 4. Retrieved from <http://www.doubledialogues.com/article/abstract-art-pain-and-discomfort/>
- He, S., Cohen, E. R., & Hu, X. P. (1998). Close correlation between activity in brain area MT/V5 and the perception of a visual motion aftereffect. *Current Biology*, 8(22), 1215-1218.
- Headache Classification Subcommittee of the International Headache Society. (2004). The International Classification of Headache Disorders: 2nd edition. *Cephalalgia*, 24(Suppl), 9-160.
- Hess, E. H. (1965). Attitude and pupil size. *Scientific American*, 212(4), 46-54.
- Hess, E. H., & Polt, J. M. (1960). Pupil size as related to interest value of visual stimuli. *Science*, 132(3423),

349-350.

- Hibbard, P. B., & O'Hare, L. (2015). Uncomfortable images produce non-sparse responses in a model of primary visual cortex. *Royal Society Open Science*, 2(2), 140535.
- 日比野治雄 (2000). 動画映像表現に関する心理評価の試み: 視覚的ストレスの視点から. *映像情報メディア学会誌*, 54(4), 559-564.
- Hillman, C. H., Rosengren, K. S., & Smith, D. P. (2004). Emotion and motivated behavior: postural adjustments to affective picture viewing. *Biological Psychology*, 66(1), 51-62.
- Holten, V., van der Smagt, M. J., Donker, S. F., & Verstraten, F. A. (2014). Illusory motion of the motion aftereffect induces postural sway. *Psychological Science*, 25(9), 1831-1834.
- Honma, M., Endo, N., Osada, Y., Kim, Y., & Kuriyama, K. (2012). Disturbances in equilibrium function after major earthquake. *Scientific Reports*, 2, 749.
- Hu, X. H., Markson, L. E., Lipton, R. B., Stewart, W. F., & Berger, M. L. (1999). Burden of migraine in the United States: disability and economic costs. *Archives of Internal Medicine*, 159(8), 813-818.
- Huang, J., Cooper, T. G., Satana, B., Kaufman, D. I., & Cao, Y. (2003). Visual distortion provoked by a stimulus in migraine associated with hyperneuronal activity. *Headache*, 43(6), 664-671.
- Huang, J., Zong, X., Wilkins, A., Jenkins, B., Bozoki, A., & Cao, Y. (2011). fMRI evidence that precision ophthalmic tints reduce cortical hyperactivation in migraine. *Cephalalgia*, 31(8), 925-936.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1969). Anatomical demonstration of columns in the monkey striate cortex. *Nature*, 221(5182), 747-750.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1972). Laminar and columnar distribution of geniculo-cortical fibers in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, 146(4), 421-450.
- Imaizumi, S., Hibino, H., & Koyama, S. (2016). Effect of colored overlays on reading comfort in people with and without Meares-Irlen syndrome. *International Journal of Affective Engineering*, 15(1), 21-28.
- Imaizumi, S., Honma, M., Hibino, H., & Koyama, S. (2015). Illusory visual motion stimulus elicits postural sway in migraine patients. *Frontiers in Psychology*, 6, 542.
- Imaizumi, S., Iwaya, A., Hibino, H., & Koyama, S. (in press). Spatial frequency content in migraine art. *Bulletin of Japanese Society for the Science of Design*.
- Imaizumi, S., Koyama, S., & Hibino, H. (2011). A quantitative evaluation of stripe and grid patterns by migraine patients and normal controls. *Bulletin of Japanese Society for the Science of Design*, 58(3), 69-74.
- Imaizumi, S., Suzuki, A., Koyama, S., & Hibino, H. (2013). Visual discomfort induced by natural images in migraineurs and normal controls. *Perception*, 42(Suppl), 83.
- Irlen, H. (1991). *Reading by the Colors: Overcoming Dyslexia and Other Reading Disabilities through the Irlen Method*. New York, United States: Avery Publishing.

- Isherwood, Z. J., Schira, M. M., & Spehar, B. (2014). The BOLD and the Beautiful: neural responses to natural scene statistics in early visual cortex. *i-Perception*, 5(4), 345.
- Ishida, S., Yamashita, Y., Matsuishi, T., Ohshima, M., Ohshima, H., Kato, H., & Maeda, H. (1998). Photosensitive seizures provoked while viewing "Pocket Monsters," a made-for-television animation program in Japan. *Epilepsia*, 39(12), 1340-1344.
- Ishikawa, T., Komatsuzaki, T., Mitsui, M., Tatsumoto, M., Hasegawa, H., & Hirata, K. (2015). Exploration of comfortable sound space for migraine patients. *International Journal of Affective Engineering*, 14(1), 1-8.
- Ishizaki, K., Mori, N., Takeshima, T., Fukuhara, Y., Ijiri, T., Kusumi, M., Yasui, K., Kowa, H., & Nakashima, K. (2002). Static stabilometry in patients with migraine and tension-type headache during a headache-free period. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 56(1), 85-90.
- 伊藤彰 (1999). 幾何学的パターンによる視覚的ストレス (修士論文), 千葉大学大学院自然科学研究科.
- Iwamitsu, Y., Takemura, K., Matsumura, O., Wang, Y., Nobutou, A., Kodaira, A., Todoroki, J., & Todoroki, K. (2013). Drawing picture of mental disorder patient and its image analysis: using texture analysis, Fourier analysis, and singular value decomposition. *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, 25(2), 651-658.
- Izzati-Zade, K. F. (2008). The role of serotonin in the pathogenesis and clinical presentations of migraine attacks. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 38(5), 501-505.
- Jeong, S. H., Oh, S. Y., Kim, H. J., Koo, J. W., & Kim, J. S. (2010). Vestibular dysfunction in migraine: effects of associated vertigo and motion sickness. *Journal of Neurology*, 257(6), 905-912.
- Juricevic, I., Land, L., Wilkins, A., & Webster, M. A. (2010). Visual discomfort and natural image statistics. *Perception*, 39(7), 884-899.
- Kapoula, Z., & Le, T. T. (2006). Effects of distance and gaze position on postural stability in young and old subjects. *Experimental Brain Research*, 173(3), 438-445.
- Kapteyn, T. S., Bles, W., Njikikijien, C. J., Kodde, L., Massen, C. H., & Mol, J. M. (1983). Standardization in platform stabilometry being a part of posturography. *Agressologie*, 24(7), 321-326.
- Kapteyn, T. S., & de Wit, G. (1972). Posturography as an auxiliary in vestibular investigation. *Acta Otolaryngologica*, 73(2-6), 104-111.
- Kasteleijn-Nolst Trenité, D. G. A., Guerrini, R., Binnie, C. D., & Genton, P. (2001). Visual sensitivity and epilepsy: a proposed terminology and classification for clinical and EEG phenomenology. *Epilepsia*, 42(5), 692-701.
- Kasteleijn-Nolst Trenité, D. G. A., van der Beld, G., Heynderickx, I., & Groen, P. (2004). Visual stimuli in daily life. *Epilepsia*, 45(Suppl), 2-6.
- Kawabe, T. (2013). Side effect of acting on the world: acquisition of action-outcome statistic relation alters

- visual interpretation of action outcome. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 610.
- Kayan, A., & Hood, J. D. (1984). Neuro-otological manifestations of migraine. *Brain*, 107(4), 1123-1142.
- Kelman, L., & Tanis, D. (2006). The relationship between migraine pain and other associated symptoms. *Cephalalgia*, 26(5), 548-553.
- Kepecs, M. R., Boro, A., Haut, S., Kepecs, G., & Moshe, S. L. (2004). A novel nonpharmacologic treatment for photosensitive epilepsy: a report of three patients tested with blue cross-polarized glasses. *Epilepsia*, 45(9), 1158-1162.
- Kitaoka, A. (2003, September 2). Rotating Snakes. *Akiyoshi's Illusion Pages*. Retrieved from <http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html>
- Kitaoka, A. (2011, July 14). A Test Stimulus and a Control Stimulus. *Akiyoshi's Illusion Pages*. Retrieved from <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/rotsnakes13e.html>
- Kitaoka, A., & Ashida, H. (2003). Phenomenal characteristics of the peripheral drift illusion. *VISION*, 15(4), 261-262.
- Knill, D. C., & Pouget, A. (2004). The Bayesian brain: the role of uncertainty in neural coding and computation. *Trends in Neurosciences*, 27(12), 712-719.
- Koch, K. (1957). *Der Baumtest: der Baumzeichenversuch als Psychodiagnostisches Hilfsmittel*. Bern, Switzerland: Huber.
- Kovesi, P. (2001). MATLAB and Octave functions for computer vision and image processing. *Computer Vision and Image Processing*. Retrieved from <http://www.peterkovesi.com/matlabfns/>
- Koyama, S., & Kawamura, M. (2007). Persistent visual aura following catheter ablation in a patient with WPW syndrome. *Behavioural Neurology*, 18(3), 187-192.
- 小山慎一 (2008). 心理物理学の神経学への応用. *Brain and Nerve*, 60(4), 463-469.
- 小山慎一・河村満 (2007). 白内障手術後に片頭痛と視覚前兆を再発した 73 歳女性. *日本頭痛学会誌*, 34(1), 75.
- Kuffler, S. W. (1953). Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. *Journal of Neurophysiology*, 16(1), 37-68.
- Kukkonen, H., Rovamo, J., Tiippana, K., & Nasanen, R. (1993). Michelson contrast, RMS contrast and energy of various spatial stimuli at threshold. *Vision Research*, 33(10), 1431-1436.
- 倉島啓介 (2008). 一対比較法による偏光サングラス可視光線透過率最適化：片頭痛患者と健常者の比較 (卒業論文), 千葉大学工学部.
- Kuriki, I., Ashida, H., Murakami, I., & Kitaoka, A. (2008). Functional brain imaging of the Rotating Snakes illusion by fMRI. *Journal of Vision*, 8(10), 1-10.
- Lambooij, M., Ijsselstein, W., Fortuin, M., & Heynderickx, I. (2009). Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review. *Journal of Imaging Science and Technology*, 53(3), 030201.

- Lanteri-Minet, M., Radat, F., Chautard, M. H., & Lucas, C. (2005). Anxiety and depression associated with migraine: influence on migraine subjects' disability and quality of life, and acute migraine management. *Pain, 118*(3), 319-326.
- Lashley, K. S. (1941). Patterns of cerebral integration indicated by the scotomas of migraine. *Archives of Neurology and Psychiatry, 46*(2), 331.
- Lauritzen, M. (1994). Pathophysiology of the migraine aura. The spreading depression theory. *Brain, 117*(1), 199-210.
- Le, A. T., Cole, G. G., & Wilkins, A. J. (2015). Assessment of tryphobia and an analysis of its visual precipitation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 68*(11), 2304-2322.
- Lee, D. N., & Aronson, E. (1974). Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception and Psychophysics, 15*(3), 529-532.
- Lee, D. N., & Lishman, J. R. (1975). Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies, 1*(2), 87-95.
- Lelard, T., Montalan, B., Morel, M. F., Krystkowiak, P., Ahmaidi, S., Godefroy, O., & Mouras, H. (2013). Postural correlates with painful situations. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 4.
- Leo, A. A. P. (1944). Spreading depression of activity in the cerebral cortex. *Journal of Neurophysiology, 7*(6), 359-390.
- Leone, M., Filippini, G., D'Amico, D., Farinotti, M., & Bussone, G. (1994). Assessment of International Headache Society diagnostic criteria: a reliability study. *Cephalalgia, 14*(4), 280-284.
- Lipton, R. B., & Bigal, M. E. (2005). Migraine: epidemiology, impact, and risk factors for progression. *Headache, 45*(Suppl), 3-13.
- Lipton, R. B., Bigal, M. E., Diamond, M., Freitag, F., Reed, M. L., Stewart, W. F., & Group, A. A. (2007). Migraine prevalence, disease burden, and the need for preventive therapy. *Neurology, 68*(5), 343-349.
- Maione, A. (2006). Migraine-related vertigo: diagnostic criteria and prophylactic treatment. *Laryngoscope, 116*(10), 1782-1786.
- Marcus, D. A., Furman, J. M., & Balaban, C. D. (2005). Motion sickness in migraine sufferers. *Expert Opinion on Pharmacotherapy, 6*(15), 2691-2697.
- Marcus, D. A., & Soso, M. J. (1989). Migraine and stripe-induced visual discomfort. *Archives of Neurology, 46*(10), 1129-1132.
- Marcus, D. A., Whitney, S. L., & Furman, J. M. (2003). Treatment of migrainous vertigo. *Expert Review of Neurotherapeutics, 3*(3), 307-316.
- Mauritz, K. H., & Dietz, V. (1980). Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. *Experimental Brain Research, 38*(1), 117-119.
- McKendrick, A. M., & Sampson, G. P. (2009). Low spatial frequency contrast sensitivity deficits in migraine

- are not visual pathway selective. *Cephalalgia*, 29(5), 539-549.
- McKendrick, A. M., Vingrys, A. J., Badcock, D. R., & Heywood, J. T. (2001). Visual dysfunction between migraine events. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 42(3), 626-633.
- Mendes, L. C., Galdino, M. K. C., Vieira, J. G., Simas, M. L., & Santos, N. A. (2011). Evaluation of contrast sensitivity among patients with migraine. *Psicologia*, 22, 81-97.
- Merikangas, K. R., Angst, J., & Isler, H. (1990). Migraine and psychopathology. Results of the Zurich cohort study of young adults. *Archives of General Psychiatry*, 47(9), 849-853.
- Merikangas, K. R., Dartigues, J. F., Whitaker, A., & Angst, J. (1994). Diagnostic criteria for migraine: a validity study. *Neurology*, 44(Suppl 4), S11-16.
- Meyer, G. F., Shao, F., White, M. D., Hopkins, C., & Robotham, A. J. (2013). Modulation of visually evoked postural responses by contextual visual, haptic and auditory information: a 'virtual reality check'. *PLoS ONE*, 8(6), e67651.
- Migraine Art. (2009). Migraine Art. *Flickr*. Retrieved from <https://www.flickr.com/photos/migraineart>
- Miles, L. K. (2009). Who is approachable? *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(1), 262-266.
- Millichap, J. G., & Yee, M. M. (2003). The diet factor in pediatric and adolescent migraine. *Pediatric Neurology*, 28(1), 9-15.
- Milner, P. M. (1958). Note on a possible correspondence between the scotomas of migraine and spreading depression of Leão. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10(4), 705.
- Morrone, M. C., Tosetti, M., Montanaro, D., Fiorentini, A., Cioni, G., & Burr, D. C. (2000). A cortical area that responds specifically to optic flow, revealed by fMRI. *Nature Neuroscience*, 3(12), 1322-1328.
- Moskowitz, M. A., Nozaki, K., & Kraig, R. P. (1993). Neocortical spreading depression provokes the expression of c-fos protein-like immunoreactivity within trigeminal nucleus caudalis via trigeminovascular mechanisms. *Journal of Neuroscience*, 13(3), 1167-1177.
- Mulleners, W. M., Chronicle, E. P., Palmer, J. E., Koehler, P. J., & Vredeveld, J. W. (2001). Visual cortex excitability in migraine with and without aura. *Headache*, 41(6), 565-572.
- Murakami, I., Kitaoka, A., & Ashida, H. (2006). A positive correlation between fixation instability and the strength of illusory motion in a static display. *Vision Research*, 46(15), 2421-2431.
- Nakayama, K. (1985). Biological image motion processing: a review. *Vision Research*, 25(5), 625-660.
- Nelson, J. I., & Frost, B. J. (1978). Orientation-selective inhibition from beyond the classic visual receptive field. *Brain Research*, 139(2), 359-365.
- 日本民間放送連盟 (2006). アニメーション等の映像手法に関するガイドライン. よりよい放送のために. Retrieved from <http://www.j-ba.or.jp/category/broadcasting/jba101033>
- 日本頭痛学会新国際頭痛分類普及委員会 (2004). 国際頭痛分類第二版. *日本頭痛学会誌*, 31(1), 1-188.
- Nosedá, R., & Burstein, R. (2013). Migraine pathophysiology: anatomy of the trigeminovascular pathway and

- associated neurological symptoms, cortical spreading depression, sensitization, and modulation of pain. *Pain*, 154(Suppl), S44-53.
- Nougier, V., Bard, C., Fleury, M., & Teasdale, N. (1997). Contribution of central and peripheral vision to the regulation of stance. *Gait and Posture*, 5(1), 34-41.
- O'Hare, L., & Hibbard, P. B. (2011). Spatial frequency and visual discomfort. *Vision Research*, 51(15), 1767-1777.
- O'Hare, L., & Hibbard, P. B. (2013). Visual discomfort and blur. *Journal of Vision*, 13(5), 1-12.
- O'Hare, L., & Hibbard, P. B. (2015). Visual processing in migraine. *Cephalalgia*.
- O'Hare, L., Zhang, T., Nefs, H. T., & Hibbard, P. B. (2013). Visual discomfort and depth-of-field. *i-Perception*, 4(3), 156-169.
- 大原松雄 (2002). 編集後記. *Clinician*, 49(514), 129.
- Okuda, S., Tatsumoto, M., & Hirata, K. (2012). Favorable lighting conditions for migrainer. *Proceedings of the Annual Meeting of Japan Ergonomics Society*, 48(Suppl), 128-129.
- Olesen, J. (2013). ICHD-3 beta is published. Use it immediately. *Cephalalgia*, 33(9), 627-628.
- Olesen, J., Friberg, L., Olsen, T. S., Iversen, H. K., Lassen, N. A., Andersen, A. R., & Karle, A. (1990). Timing and topography of cerebral blood flow, aura, and headache during migraine attacks. *Annals of Neurology*, 28(6), 791-798.
- Olesen, J., Larsen, B., & Lauritzen, M. (1981). Focal hyperemia followed by spreading oligemia and impaired activation of rCBF in classic migraine. *Annals of Neurology*, 9(4), 344-352.
- Olsen, T. S. (1990). Migraine with and without aura - the same disease due to cerebral vasospasm of different intensity: a hypothesis based on cbf studies during migraine. *Headache*, 30(5), 269-272.
- Otero-Millan, J., Macknik, S. L., & Martinez-Conde, S. (2012). Microsaccades and blinks trigger illusory rotation in the "rotating snakes" illusion. *Journal of Neuroscience*, 32(17), 6043-6051.
- Parola, R. (1996). *Optical Art: Theory and Practice*. New York, United States: Dover Publications.
- Partala, T., & Surakka, V. (2003). Pupil size variation as an indication of affective processing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1-2), 185-198.
- Paulus, W. M., Straube, A., & Brandt, T. (1984). Visual stabilization of posture: physiological stimulus characteristics and clinical aspects. *Brain*, 107(4), 1143-1163.
- Peatfield, R. C. (1995). Relationships between food, wine, and beer-precipitated migrainous headaches. *Headache*, 35(6), 355-357.
- Peatfield, R. C., Glover, V., Littlewood, J. T., Sandler, M., & Clifford Rose, F. (1984). The prevalence of diet-induced migraine. *Cephalalgia*, 4(3), 179-183.
- Penacchio, O., & Wilkins, A. J. (2015). Visual discomfort and the spatial distribution of Fourier energy. *Vision Research*, 108, 1-7.

- Perakakis, P. E., Idrissi, S., Vila, J., & Ivanov, P. (2012). Dynamical patterns of human postural responses to emotional stimuli. *Psychophysiology*, *49*(9), 1225-1229.
- Pietrobon, D., & Moskowitz, M. A. (2013). Pathophysiology of migraine. *Annual Review of Physiology*, *75*, 365-391.
- Podoll, K. (2004a, June 13). The Migraine Art Competitions. *Migraine Aura Foundation*. Retrieved from <http://www.migraine-aura.com/content/e24966/e25413/e25619>
- Podoll, K. (2004b, May 31). Vincent van Gogh (1853-1890). *Migraine Aura Foundation*. Retrieved from <http://www.migraine-aura.com/content/e24966/e22874/e24641>
- Podoll, K. (2005, March 23). Pablo Ruiz Picasso (1881-1973). *Migraine Aura Foundation*. Retrieved from <http://www.migraine-aura.com/content/e24966/e22874/e23952>
- Podoll, K. (2006). Migraine art in the Internet: a study of 450 contemporary artists. *International Review of Neurobiology*, *74*, 89-107.
- Podoll, K., & Ayles, D. (2006). Sarah Raphael's migraine with aura as inspiration for the foray of her work into abstraction. *Neurobiology of Painting*, *74*, 109-118.
- Podoll, K., & Nicola, U. (2004). The illness of Giorgio de Chirico: migraine or epilepsy? *European Neurology*, *51*(3), 186.
- Podoll, K., & Robinson, D. (2008). *Migraine Art: The Migraine Experience from Within*. California, United States: North Atlantic Books.
- Poulton, E. C. (1968). The new psychophysics: six models for magnitude estimation. *Psychological Bulletin*, *69*(1), 1-19.
- Pretty, J., Peacock, J., Sellens, M., & Griffin, M. (2005). The mental and physical health outcomes of green exercise. *International Journal of Environmental Health Research*, *15*(5), 319-337.
- Queiroz, L. P., Peres, M. F., Piovesan, E. J., Kowacs, F., Ciciarelli, M. C., Souza, J. A., & Zukerman, E. (2009). A nationwide population-based study of migraine in Brazil. *Cephalalgia*, *29*(6), 642-649.
- Reason, J. T., & Brand, J. J. (1975). *Motion Sickness*. Oxford, United Kingdom: Academic Press.
- Reploeg, M. D., & Goebel, J. A. (2002). Migraine-associated dizziness: patient characteristics and management options. *Otology & Neurotology*, *23*(3), 364-371.
- Roberts, D. L., & Vargas, B. B. (2012). The portrayal of migraine in popular music: observations and implications. *Headache*, *52*(7), 1164-1170.
- Robson, J. G. (1966). Spatial and temporal contrast-sensitivity functions of the visual system. *Journal of the Optical Society of America*, *56*(8), 1141.
- Rohkamm, R. (2004). *Color Atlas of Neurology*. New York, United States: Thieme.
- Sakai, F. (2008). Migrainology learned from patients. *Clinical Neurology*, *48*(11), 785-791.
- Sakai, F., & Igarashi, H. (1997). Prevalence of migraine in Japan: a nationwide survey. *Cephalalgia*, *17*(1), 15-

- Scher, A. I., Stewart, W. F., & Lipton, R. B. (1999). Migraine and headache: a meta-analytic approach. In I. K. Crombie, P. R. Croft, L. LeResche, & M. von Korff (Eds.), *Epidemiology of Pain* (pp. 159-170). Seattle, United States: IASP Press.
- Schwedt, T. J. (2013). Multisensory integration in migraine. *Current Opinion in Neurology*, 26(3), 248-253.
- Selye, H. (1956). *The Stress of Life*. New York, United States: McGraw-Hill.
- Seno, T., Kitaoka, A., & Palmisano, S. (2013). Vection induced by illusory motion in a stationary image. *Perception*, 42(9), 1001-1005.
- Shepherd, A. J. (2000). Visual contrast processing in migraine. *Cephalalgia*, 20(10), 865-880.
- Shepherd, A. J. (2006a). Color vision but not visual attention is altered in migraine. *Headache*, 46(4), 611-621.
- Shepherd, A. J. (2006b). Local and global motion after-effects are both enhanced in migraine, and the underlying mechanisms differ across cortical areas. *Brain*, 129(7), 1833-1843.
- Shepherd, A. J., Hine, T. J., & Beaumont, H. M. (2013). Color and spatial frequency are related to visual pattern sensitivity in migraine. *Headache*, 53(7), 1087-1103.
- Silverstein, S. M., & Keane, B. P. (2011). Perceptual organization impairment in schizophrenia and associated brain mechanisms: review of research from 2005 to 2010. *Schizophrenia Bulletin*, 37(4), 690-699.
- Slaghuis, W. L. (1998). Contrast sensitivity for stationary and drifting spatial frequency gratings in positive- and negative-symptom schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 107(1), 49-62.
- Slobounov, S., Wu, T., Hallett, M., Shibasaki, H., Slobounov, E., & Newell, K. (2006). Neural underpinning of postural responses to visual field motion. *Biological Psychology*, 72(2), 188-197.
- Smart, L. J., Jr., Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2002). Visually induced motion sickness predicted by postural instability. *Human Factors*, 44(3), 451-465.
- Smith, A. T., Wall, M. B., & Thilo, K. V. (2012). Vestibular inputs to human motion-sensitive visual cortex. *Cerebral Cortex*, 22(5), 1068-1077.
- Soso, M. J., Lettich, E., & Belgum, J. H. (1980). Pattern-sensitive epilepsy: Part 2. Effects of pattern orientation and hemifield stimulation. *Epilepsia*, 21(3), 313-323.
- Spillmann, L., & Levine, J. (1971). Contrast enhancement in a Hermann grid with variable figure-ground ratio. *Experimental Brain Research*, 13(5), 547-559.
- Stankewitz, A., Aderjan, D., Eippert, F., & May, A. (2011). Trigeminal nociceptive transmission in migraineurs predicts migraine attacks. *Journal of Neuroscience*, 31(6), 1937-1943.
- Stanners, R. F., Coulter, M., Sweet, A. W., & Murphy, P. (1979). The pupillary response as an indicator of arousal and cognition. *Motivation and Emotion*, 3(4), 319-340.
- Stefansson, S. B., Darby, C. E., Wilkins, A. J., Binnie, C. D., Marlton, A. P., Smith, A. T., & Stockley, A. V. (1977). Television epilepsy and pattern sensitivity. *British Medical Journal*, 2(6079), 88-90.

- Stins, J. F., & Beek, P. J. (2007). Effects of affective picture viewing on postural control. *BMC Neuroscience*, 8(83), 1-7.
- Stoffregen, T. A. (1985). Flow structure versus retinal location in the optical control of stance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(5), 554-565.
- Takahashi, T., & Tsukahara, Y. (1998). Pocket Monster incident and low luminance visual stimuli: special reference to deep red flicker stimulation. *Acta Paediatrica Japonica*, 40(6), 631-637.
- Takasaki, I., Takemura, K., & Iwamitsu, Y. (2005). Understanding of psychological process using drawing picture: image analysis of tree test psychological interpretation. *Journal of Japan Society of Kansei Engineering*, 5(3), 155-164.
- Takemura, K., Takasaki, I., & Iwamitsu, Y. (2005). Statistical image analysis of psychological projective drawings. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 9(5), 453-460.
- Taylor, R. P., Micolich, A. P., & Jonas, D. (1999). Fractal analysis of Pollock's drip paintings. *Nature*, 399(6735), 422-422.
- Teggi, R., Colombo, B., Bernasconi, L., Bellini, C., Comi, G., & Bussi, M. (2009). Migrainous vertigo: results of caloric testing and stabilometric findings. *Headache*, 49(3), 435-444.
- Tehom. (2008). File: Migraine aura. *Wikimedia Commons*. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Migraine_aura.jpg
- Terwindt, G. M., Ferrari, M. D., Tijhuis, M., Groenen, S. M., Picavet, H. S., & Launer, L. J. (2000). The impact of migraine on quality of life in the general population: the GEM study. *Neurology*, 55(5), 624-629.
- Tibber, M. S., & Shepherd, A. J. (2006). Transient tritanopia in migraine: evidence for a large-field retinal abnormality in blue-yellow opponent pathways. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 47(11), 5125-5131.
- Tolhurst, D. J., Tadmor, Y., & Chao, T. (1992). Amplitude spectra of natural images. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 12(2), 229-232.
- Travis, R. C. (1945). An experimental analysis of dynamic and static equilibrium. *Journal of Experimental Psychology*, 35(3), 216-234.
- Tsunetsugu, Y., Park, B. J., Ishii, H., Hirano, H., Kagawa, T., & Miyazaki, Y. (2007). Physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest) in an old-growth broadleaf forest in Yamagata Prefecture, Japan. *Journal of Physiological Anthropology*, 26(2), 135-142.
- Tuaycharoen, N., & Tregenza, P. R. (2007). View and discomfort glare from windows. *Lighting Research & Technology*, 39(2), 185-200.
- Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420-421.
- van Asten, W. N., Gielen, C. C., & Denier van der Gon, J. J. (1988). Postural adjustments induced by simulated

- motion of differently structured environments. *Experimental Brain Research*, 73(2), 371-383.
- Vingen, J. V., Pareja, J. A., Storen, O., White, L. R., & Stovner, L. J. (1998). Phonophobia in migraine. *Cephalalgia*, 18(5), 243-249.
- Wall, M. B., & Smith, A. T. (2008). The representation of egomotion in the human brain. *Current Biology*, 18(3), 191-194.
- Warren, W. H., & Hannon, D. J. (1988). Direction of self-motion is perceived from optical-flow. *Nature*, 336(6195), 162-163.
- Webster, M. A., Georgeson, M. A., & Webster, S. M. (2002). Neural adjustments to image blur. *Nature Neuroscience*, 5(9), 839-840.
- Wieser, T., Wolff, R., Hoffmann, K. P., Schulte-Mattler, W., & Zierz, S. (2004). Persistent ocular motor disturbances in migraine without aura. *Neurological Sciences*, 25(1), 8-12.
- Wikimedia Commons. (2014). Category: Google Art Project. *Wikimedia Commons*. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Google_Art_Project
- Wilkins, A. J. (1995). *Visual Stress*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Wilkins, A. J. (2003). *Reading through Colour: How Coloured Filters Can Reduce Reading Difficulty, Eye Strain, and Headaches*. New Jersey, United States: John Wiley & Sons.
- Wilkins, A. J., Darby, C. E., & Binnie, C. D. (1979). Neurophysiological aspects of pattern-sensitive epilepsy. *Brain*, 102(1), 1-25.
- Wilkins, A. J., & Hibbard, P. B. (2014). *Discomfort and hypermetabolism*. Paper presented at the 50th Anniversary Convention of the Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behaviour, London, United Kingdom.
- Wilkins, A. J., Huang, J., & Cao, Y. (2004). Visual stress theory and its application to reading and reading tests. *Journal of Research in Reading*, 27(2), 152-162.
- Wilkins, A. J., Nimmo-Smith, I., Tait, A., McManus, C., Della Sala, S., Tilley, A., Arnold, K., Barrie, M., & Scott, S. (1984). A neurological basis for visual discomfort. *Brain*, 107(4), 989-1017.
- Wilkins, A. J., Patel, R., Adjajian, P., & Evans, B. J. (2002). Tinted spectacles and visually sensitive migraine. *Cephalalgia*, 22(9), 711-719.
- Wilkins, A. J., Smith, J., Willison, C. K., Beare, T., Boyd, A., Hardy, G., Mell, L., Peach, C., & Harper, S. (2007). Stripes within words affect reading. *Perception*, 36(12), 1788-1803.
- Wilkinson, F., Karanovic, O., Ross, E. C., Lillakas, L., & Steinbach, M. J. (2006). Ocular motor measures in migraine with and without aura. *Cephalalgia*, 26(6), 660-671.
- Wilkinson, F., Karanovic, O., & Wilson, H. R. (2008). Binocular rivalry in migraine. *Cephalalgia*, 28(12), 1327-1338.
- Wilkinson, M., & Robinson, D. (1985). Migraine art. *Cephalalgia*, 5(3), 151-157.

- Wilson, H. R., McFarlane, D. K., & Phillips, G. C. (1983). Spatial frequency tuning of orientation selective units estimated by oblique masking. *Vision Research*, 23(9), 873-882.
- Woolfs, D. (2003). Abstract art used to drive prisoners mad. *IOL News*. Retrieved from <http://www.iol.co.za/news/world/abstract-art-used-to-drive-prisoners-mad-1.103903>
- World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191-2194.
- Yang, W., Chu, B., Yang, J., Yu, Y., Wu, J., & Yu, S. (2014). Elevated audiovisual temporal interaction in patients with migraine without aura. *Journal of Headache and Pain*, 15(1), 44.
- Yates, B. J., Miller, A. D., & Lucot, J. B. (1998). Physiological basis and pharmacology of motion sickness: an update. *Brain Research Bulletin*, 47(5), 395-406.
- Yenice, O., Onal, S., Incili, B., Temel, A., Afsar, N., & Tanridag, T. (2007). Assessment of spatial-contrast function and short-wavelength sensitivity deficits in patients with migraine. *Eye*, 21(2), 218-223.
- Yokota, Y., Aoki, M., Mizuta, K., Ito, Y., & Isu, N. (2005). Motion sickness susceptibility associated with visually induced postural instability and cardiac autonomic responses in healthy subjects. *Acta Oto-Laryngologica*, 125(3), 280-285.
- Zeki, S., Watson, J. D., Lueck, C. J., Friston, K. J., Kennard, C., & Frackowiak, R. S. (1991). A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 11(3), 641-649.