

# 煩わしい光からの解放へ あらたなニーズに 着目したコンタクトレンズ



北里大学 医療衛生学部 視覚機能療法学 半田 知也先生

共同著者

ジョンソン・エンド・ジョンソン株式会社  
ビジョンケア カンパニー  
松尾 美有希

共同著者

Johnson & Johnson  
Vision Care, Inc.  
奥山 朋子

監修

Johnson & Johnson  
Vision Care, Inc.  
John Buch

## Key Note

- 我々は様々な光条件の下で生活しており、散乱光を含む眩しい光など、眼にとって不快な現象を日常的に経験している。実際に、日本人の約98%が眩しい光を避ける行動をとったことがある、と回答している<sup>1</sup>
- 世界初<sup>\*1</sup>の調光コンタクトレンズであるアキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ は、既存のアキュビュー® オアシス® と同じ素材に調光剤を添加することで、光に応じてレンズの色が変化し、一日を通して眼に入る様々な光を自動で調節する
- 日常生活の中で想定される不快な光に対する臨床試験結果の他覚的指標では、本製品が同素材のアキュビュー® オアシス® を上回る有意な改善をもたらすことが示された
- 本製品は、昼夜、室内外を問わず光を自動で調節することにより、視界の安定性の向上と眼を細めるなどの反応も軽減されることが示された
- 不快に感じる光を制御することで、Quality of Vision (QOV)、さらにはQuality of Life (QOL) が向上する可能性がある

## 光のノイズ～光は時に視界の妨げになる～

光は我々が生活していく上で不可欠なものであるが、我々の日常生活の中では時に視界の妨げとなる場合もある。我々がモノを見るためには屋内でも屋外でも、見る、勉強する、仕事をするように十分な光が必要である<sup>2</sup>。眼は光を捉えて、その信号を脳に伝える役割を有するが故に、恒常的に非常に広い範囲の光波長・光量レベルに曝露されている。我々ヒトは、日の出と共に目覚め、日の入りと共に寝る生活を基準とする体内時計を有している。しかしながら現代社会では、朝目覚めると太陽光が降り注ぐ屋外へ向かい、オフィスでは人工光と自然光の間を行き来して過ごし、日中及び夜間の条件で自動車などを運転し、明るく照らされたデジタル機器を見ながら多くの時間を過ごしている。これら複雑な光の条件に合わせ、眼は常に順応しているが、それでも光を不快に感じる可能性がある。「光のノイズ」ともいべき厄介な光に直面した際に、眼をそらす又は光を遮る、眼を細める、サングラス等を着用することで意識的、又は無意識に対処している。非常に複雑に絶え間なく光環境が変化する状況下

では、光の調節、順応に疲れ、最終的にはQOLを低下させる不快感を生じる可能性があることは想像に難くない。Hammondらは、光の影響を受けるであろう視覚性能として、〈表1〉に示す項目を挙げており<sup>3</sup>、実際、眩しさに伴う瞳孔縮小(眼を細める)の程度と不快感には逆相関があることを報告している〈図1〉<sup>4</sup>。また、あるアンケートによると、眩しい「光」を反射的に避ける行動は日本人の98%にみられるといわれている<sup>1</sup>。電磁波スペクトルの可視光領域(380～780nm)は全スペクトルの内の小さな波長帯でしかない。可視光より短波長の紫外線(ultraviolet : UV)は、細胞を通過し、分子レベルに変化すると理解されている。UVによる蓄積されたダメージは、皮膚の日焼けはもちろん、翼状片や白内障、加齢黄斑変性等を引き起こす原因になる可能性もあるといわれている。可視光領域の短波長領域は高エネルギー可視光線(high-energy visible light : HEV)と呼ばれ、眼の損傷の危険性を懸念する報告もある<sup>5-10</sup>。これらのHEVに関する報告の背景には、デジタル機器の画面からの放出に

\*1 Johnson & Johnson, Inc. は光を調節する本タイプのコンタクトレンズを世界で初めて上市しました。販売名:アキュビュー オアシス トランジションズ スマート調光 承認番号:30100BZX00095000

よる懸念があると考えられるが、そもそも太陽から放出されるHEVの量はデジタル機器から放出される量をはるかに上回ることを理解する必要がある(図2)。実際HEVの曝露に関して、15分間屋外にいることと、10~13時間デジタル機器

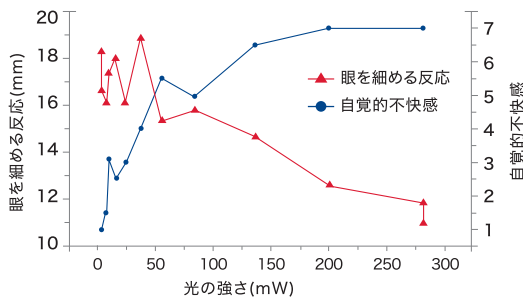
を見ていることが同等とみなされるという報告もある<sup>1)</sup>。このような一日を通して変化する光に応じて、眼に入る光量を自動調節する機能は、QOV及びQOLの向上を検討する上で重要な視点である。

〈表1〉光の影響を受ける視覚性能の主要項目

主要項目	実例
Glare (two types) グレア(2種類)	眩光にさらされたときに感じる不快感(又は眩光が原因で眼内散乱が増加した場合の一時的な視覚障害)並びに、晴れた日の道路標識などを認識するためのコントラスト低下
Squint response 眼を細める反応	直射日光など不快に感じる光にさらされたときの反応
Starburst/Halo スターバースト/ハロー	車のヘッドライトなどの眩光周囲に見られる光の散乱
Chromatic contrast 色コントラスト	実際に眼で見ている光景には色彩の境界があり、光を調節することにより、色彩の境界線をくっきりと認識できる
Photostress recovery time 光ストレス回復時間	目がくらむような明るい光を浴びた後に、視覚機能が回復するまでの時間
Visual range 視界	屋外シーンでの光の散乱や、もやのかかった光による視界の低下

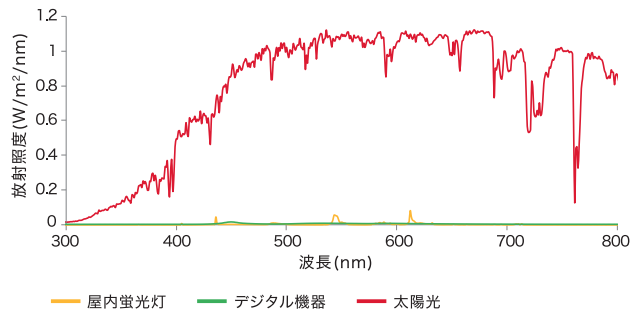
Hammond B, Renzi-Hammond LM, Buch J, Nankivil D. Measuring total visual experience. Contact Lens Spectrum. 2018;33:32-38(参考文献3)

〈図1〉眩光、眼を細める反応(瞼裂幅)及び自覚的不快感の関連性



Renzi-Hammond LM, Hammond BR, Jr. The effects of photochromic lenses on visual performance. Clinical & experimental optometry. 2016;99(6):568-574.(参考文献4)

〈図2〉屋内外における光の強さ



Solar Irradiance using ILT950 Spectroradiometer (Florida, 2016). Indoor Lighting Conditions from JJVC R&D

## 光をマネージすることの重要性

従来、コンタクトレンズによる屈折矯正は、光をコントロールし、網膜(中心窩)に焦点を結ばせる光学技術として捉えられてきた。光が一日を通して変化するという事実を踏まえて屈折矯正を改めて考えてみると、屈折矯正に光をマネージする視点を持つことの重要性を感じることができる。特に、対応に苦慮することの多い眩光への対策が、光のマネージメント技術として求められる。眩光や眩輝を受けて、光が煩わしいときの対処法として、目を覆う、目をそらす、デジタル機器の輝度を下げる、室内照明を消すなどがあるが、これらの対処法は不便であることに間違いない。従来、眩光・眩輝に対応するレンズとして、サングラス、偏光レンズ、調光レンズが知られている。サングラスはすべての波長領域をカットするた

め、眩しさはカットできるが、暗い環境では見え難い。偏光レンズはレンズの中にある偏光フィルムにより眩しさの原因となる不要な反射光をカットできるが、サングラス同様に暗い環境では見え難い。サングラスも偏光レンズも日常生活における常用は困難である。日常生活で常用可能なレンズに調光レンズがある。従来の調光レンズは、主にUVが当たることでレンズに含まれた調光剤が変化し、UVの量に合わせてレンズの色(濃度)が変化する。UVを浴びる屋外では濃い色のレンズ、屋内では薄い色のレンズに光環境によって変化するため、常用可能である。一日を通して変化する光をコントロールするためには調光レンズが理想であると考えられる。しかしながら、調光眼鏡レンズには、2点の懸念点がある。1点目は接客業等に

従事する人にとって、レンズの色の变化に伴う見た目の変化が、他者からの印象に影響を与え、業務に支障をきたす不安を抱かせること、2点目は眼鏡レンズが一般的に外気温の影響

を受けやすいと言われており、気温が高い場合には調光が機能し難くなる可能性があることである。コンタクトレンズが調光機能を有するなら、これらの懸念点は払拭される可能性が高い。

## アキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ 製品紹介

### 開発背景

前述の通り、我々は日常生活において、様々な「光」の変化の中で生活をしており、通勤や通学時の電車で差し込む太陽光、長時間のVDT (Visual Display Terminals) 作業時の光環境、さらに、対向車のヘッドライトなどを煩わしいと感じることがある。これらの日常生活の煩わしい光対策のひとつとして調光眼鏡が存在するが、レンズが色付いた際の見た目や調光機能が温度に依存するなどの課題がある。Johnson & Johnson Vision Care, Inc.は、コンタクトレンズに調光機能を付加することにより、これらの課題をクリアできるあらたな解決策として、アキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™を開発した。レンズ素材は、アキュビュー® オアシス®<sup>※2</sup>と同じシリコンハイドロゲル (senofilcon A) で、世界で初めての<sup>※1</sup>調光コンタクトレンズである。本製品は、10年以上の開発期間、1000人以上が参加した臨床試験を経て誕生し、本邦では2019年8月に承認されている。

### 作用機序

当該レンズに含有された調光剤は、UVやHEVに曝露されると、分子構造の一部が変化し、レンズの色の濃度が自動的にかつ可逆的に変化し、可視光を動的に吸収し眼に入る光の量を調節するという作用を持っている<図3>。レンズの色の变化にムラが出ないように、調光剤はレンズ全体に均一に

重合され、ポリエチレン化している。

一般的に調光作用に温度の影響を受けやすいとされている調光眼鏡とは異なり、当該レンズは常に眼表面の温度(約35度)に保たれるため、外気温の影響を受けにくい。そのため、レンズの反応が安定である。レンズの色が最も薄い状態であっても最大で16%<sup>※3</sup>、レンズの色が最も濃い状態になると最大で70%<sup>※3</sup>の可視光をカットする。380~460nmのブルーライト領域<sup>※4</sup>であれば、レンズの色が最も薄い状態で15%<sup>※3</sup>、濃い状態で55%<sup>※3</sup>カットする。レンズの色が最も薄い状態であっても、一定の可視光をカットする理由は、調光作用を有する分子の一部が、活性化されているためである<図4>。

日常生活において想定されるシーンとして、例えば日中室内(窓の傍)であれば約20%<sup>※5</sup>、日中屋外であれば約60%<sup>※5</sup>程度、可視光をカットすると想定される<図3: 光の条件によって異なる>。本製品は、見え方の質や快適性に影響するとされる光(散乱しやすい短波長の光など)の角膜への透過を低減する。コントラスト感が向上することでクリアな視界を提供することが期待される。また、レンズの色の濃さに関わらず、常にUVB波を99.9%以上<sup>※6</sup>、UVA波を98.9%以上<sup>※6</sup>カットし、現時点におけるアキュビュー® 製品の中では最高のカット率を有する。

<図3>作用機序—Always on, always working—



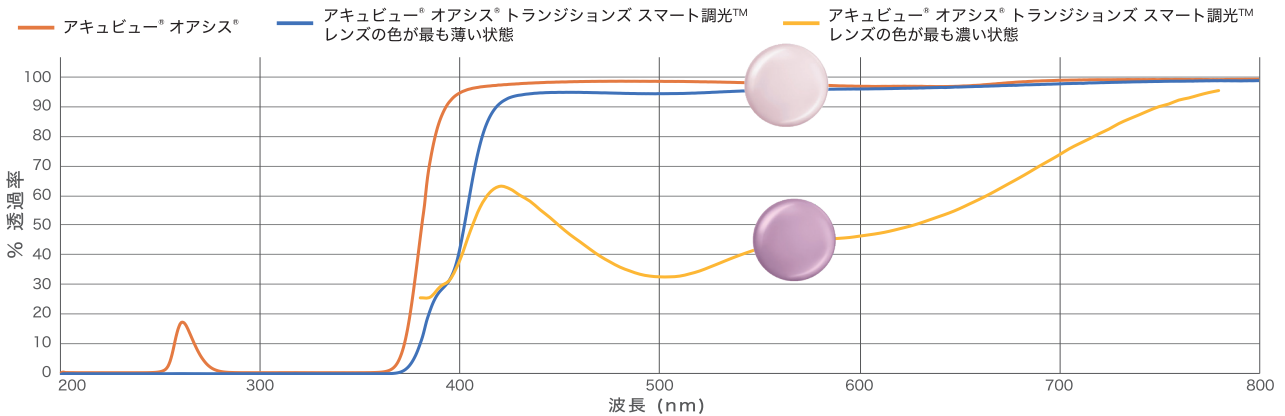
装用イメージ; レンズのイラストはすべてイメージ図で、実際の色とは異なります

※1 Johnson & Johnson, Inc. は光を調節する本タイプのコンタクトレンズを世界で初めて上市しました。 ※2 販売名:アキュビュー オアシス 承認番号:21800BZY10252000  
 ※3 Johnson & Johnson VISION CARE, INC. データより ※4 ISO 8980-3に基づく380~460nm ※5 カット率はシミュレーション値のため実際の条件により異なります。  
 ※6 Johnson & Johnson VISION CARE, INC. データより。UV吸収剤を配合したコンタクトレンズは、UV吸収サングラスなどの代わりにはなりません。本製品の使用と、紫外線に起因する眼障害リスク低減の関係については、臨床試験において確認されておりません。

本製品に使用している調光剤は、Transitions社がアキュビュー® オアシス® のsenofilcon A素材と組み合わせるために独自に開発したもので、調光眼鏡に使用されているものと同一ではない。眼鏡より格段に体積の少ないコンタクトレンズの中で、また体表面の温度でも十分に効果が発揮さ

れるよう、眼鏡用の調光剤より光に対する反応性が高い調光剤を採用した。また、ヒトの多様な虹彩上に装用しても外観上違和感がないという点も重視した。虹彩の色が比較的濃い日本人であれば、角膜輪部に多少の色の違いが見える程度で虹彩の外観にはほとんど違いはない。

〈図4〉本製品とアキュビュー® オアシス® の透過スペクトル



紫外線	可視光			赤外線
レンズの状態	紫外線B波	紫外線A波	ブルーライト※4	可視光
レンズの色が最も薄い状態	99.9%以上カット※6	98.9%以上カット※6	最大15%カット※3	最大16%カット※3
レンズの色が最も濃い状態	99.9%以上カット※6	98.9%以上カット※6	最大55%カット※3	最大70%カット※3

## アキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ 性能について

本製品の性能を確認するために、標準的なコンタクトレンズの臨床試験に加え、種々の場面(屋内外、昼夜など)において、光の影響を受ける視覚性能に対して本製品がどのように影響するかを確認した。すべての試験は、本製品のベース素材であるアキュビュー® オアシス® との比較臨床試験である。

### 光学試験:Optical bench study

本編で紹介するのは、日中屋外での使用を想定した「レンズの色が濃くなった状態」、及び屋内又は夜間での使用を想定した「レンズの色が薄い状態」のアキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ を用いたOptical bench studyである。本試験は、Hammond※7らによって実施された。

本製品の強い光又は散乱光に対する性能試験の評価項目は、前述の〈表1〉に示した光の調節の影響を受ける視覚性能の主要項目を軸に設定されている〈表2〉。

〈表2〉Optical bench studyにおける評価項目

	Optical bench studyにおける評価項目	光の調節の影響を受ける視覚性能の主要項目
第一期	Photostress recovery 眩しい光を浴びた時の視界の回復時間	Photostress recovery time 光ストレス回復時間
	Glare discomfort 眼を細める幅(瞼裂幅の減少量)	Squint response/Glare 眼を細める反応/グレア
	Glare disability 対象物が見えなくなる光量	Glare グレア
第二期 〈図5〉	Chromatic contrast 色コントラスト感度	Chromatic contrast 色コントラスト
	Halo size 光源周囲のハロー径	Starry/Halo スターバースト/ハロー
	Starburst size 光源周囲のスターバースト径	
2-Point Light Scatter 2つの光源が2つであることを認識できる距離	Visual range 視界	

〈図5〉散乱光の実例



※3 Johnson & Johnson VISION CARE, INC. データより ※4 ISO 8980-3に基づく380~460nm ※6 Johnson & Johnson VISION CARE, INC. データより。UV吸収剤を配合したコンタクトレンズは、UV吸収サングラスなどの代わりにはなりません。本製品の使用と、紫外線に起因する眼障害リスク低減の関係については、臨床試験において確認されておりません。 ※7 JJV Data on File 2018: ACUVUE® OASYS® with Transitions™ Objective Clinical data/ Clinical trials have shown those aged 40-65 may be more likely to experience this benefit in the inactivated ACUVUE® OASYS® with Transitions™

本試験は、二期で構成されており、第一期では眩しい光に対する影響、第二期では散乱光に対する影響を検証している。試験全体で被験者123名を登録し、片眼には試験レンズの本製品を、僚眼には対照レンズのアクビュー® オアシス® を装着させた。試験レンズ装着眼は、日中屋外での使用を想定した、光により活性化した(光活性化(+))レンズと、屋内又は夜間での使用を想定した、光により活性化していない(光活性化(-))レンズのいずれかに無作為に割り付けられた(表3)。

〈表3〉試験デザイン

第一期：眩光に対する試験			
● インフォームドコンセント ● 適格性 ● ベースライン屈折値 ● ベースラインの健康状態 試験レンズ又は対照レンズのトライアルフィッティング			
<b>光活性化(+)</b> 試験レンズ ●、対照レンズ ○		<b>光活性化(-)</b> 試験レンズ ○、対照レンズ ●	
● Photostress Recovery ● Discomfort Glare ● Disability Glare ● 色コントラスト		● Photostress Recovery ● Discomfort Glare ● Disability Glare ● 色コントラスト	
第二期：散乱光に対する試験			
● ベースライン視力 ● ベースラインの健康状態 試験レンズ又は対照レンズのトライアルフィッティング			
<b>光活性化(+)</b> 試験レンズ ●、対照レンズ ○		<b>光活性化(-)</b> 試験レンズ ○、対照レンズ ●	
● ハロー ● スターバースト		● ハロー ● スターバースト	
● 2-Point Light Scatter		● 2-Point Light Scatter	
403 nm フィルター有り	403 nm フィルター無し	403 nm フィルター有り	403 nm フィルター無し

両期の試験方法並びに試験結果

本試験条件は、実世界に近い環境となるよう設定し、精密光学機器を用いて測定した。例えば、眩しい光は、真昼の太陽光に匹敵するキセノンランプを用い、色コントラスト用に使用した青色は空の色(460nm)に一致させた。こうした視覚的側面を研究環境で測定した場合でも、実世界に直接関連付けることが可能である<sup>12</sup>。また、2-Point Light Scatterは、散乱がより増加する403±8nmのみを透過するフィルターを通した光源でも試験を実施した。選択した403±8nmは、短波長側の視覚感度の範囲内で、試験レンズの色が最も薄い状態(光により活性化していない状態)であっても最大限に光をカットする波長である(図4参照)。

両期の試験方法と試験結果を(表4)、(表5)に示す。評価したすべての項目において、アクビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ は、日中屋外での使用を想定した、光により活性化したレンズ、屋内又は夜間での使用を想定した、光により活性化していないレンズのいずれの状態でも、アクビュー® オアシス® と比較して有意に優れた結果であった。

(表4)に示した通り光により活性化したレンズでは、Photostress Recoveryは43%早く、さらに皸裂幅の減少が39%少なかった。ハロー径は48%、スターバースト径は42%小さく、2-Point Light Scatterの白色光(403nmフィルター無し)については、2つの円だと認識できる距離が37%短く、紫光(403nmフィルター有り)では30%短かった。色コントラストは、青色の光量が32%多い状態でも、緑色を認識でき、よりクリアな視界を体感することが示唆される(表4)。

〈表4〉Optical bench studyの試験方法並びに試験結果(光活性化有り)

アクビュー® オアシス® と比較したアクビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ の結果

Photostress Recovery	Discomfort Glare	Disability Glare	色コントラスト	ハロー	スターバースト	2-Point Light Scatter	
フラッシュ光を当てた後に、見え方が回復するまでの時間を測定	フラッシュ光を当てた前後の皸裂幅を測定し、皸裂幅の減少量を算出	中央の格子の円が見えなくなるまでの周囲円の光の輝度を計測	中央の緑の格子の円が見えなくなるまでの周囲の青色の強度を計測	ハロー径を計測	スターバースト径を計測	403nmフィルター無し	403nmフィルター有り
<b>43%</b> 回復が早い	<b>39%</b> 眼を細める幅が少ない	<b>27%</b> より明るい光	<b>32%</b> より強い光	<b>48%</b> ハロー径の減少	<b>42%</b> スターバースト径の減少	<b>37%</b> 視認距離の減少	<b>30%</b> 視認距離の減少

〈表5〉に示した通り光により活性化していないレンズであっても、Photostress Recoveryは45%早く、瞼裂幅の減少は26%少なく、ハロー径は18%、スターバースト径は22%小さかった。2-Point Light Scatterについては、白色光(403nmフィルター無し)は2つの円だと認識できる距離が18%短く、紫光(403nmフィルター有り)では、17%短かった。これらの結果により、光により活性化していないレンズであっても眩光及び散乱光を低減することが示されたが、これ


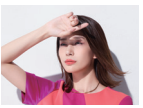

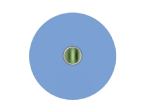



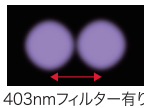
には、試験レンズが常に短波長側の光をカットしていることが寄与していると考えられる〈図4〉。

### 考察

昼夜・屋内外のいずれの想定場面においても、本製品が眩光や散乱光を自動調節することで、視界の安定性が向上することが確認され、それにより眼を細めるなどの反応も軽減されることが示された。

### 〈表5〉Optical bench studyの試験方法並びに試験結果(光活性化無し)

#### アキュビュー® オアシス® と比較したアキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ の結果

Photostress Recovery	Discomfort Glare	Disability Glare	色コントラスト	ハロー	スターバースト	2-Point Light Scatter	
							
非常に強い光を当てた後に、見え方が回復するまでの時間を測定	フラッシュ光を当てる前後の瞼裂幅を測定し、瞼裂幅の減少量を算出	中央の格子の円が見えなくなるまでの周囲円の光の輝度を計測	中央の緑の格子の円が見えなくなるまでの周囲の青色の強度を計測	ハロー径を計測	スターバースト径を計測	403nmフィルター無し	403nmフィルター有り
<b>45%</b> 回復が早い	<b>26%</b> 眼を細める幅が少ない	<b>17%</b> より明るい光	<b>17%</b> より強い光	<b>18%</b> ハロー径の減少	<b>22%</b> スターバースト径の減少	<b>18%</b> 視認距離の減少	<b>17%</b> 視認距離の減少

## アキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ への期待

このたび、日常生活の煩わしい光からの解放を目指して、これまでになかった調光機能を加えたコンタクトレンズが登場した。アキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ は、日常生活で刻々と変わる光にスムーズ

に対応し、一日を通じてものを見る眼の負担を軽減する、新しい光マネージメント技術である。アキュビュー® オアシス® トランジションズ スマート調光™ が、我々の日常生活における視覚の質に、あらたな充足をもたらすことが期待される。

### 参考文献

1. ジョンソン・エンド・ジョンソン株式会社 ビジョンケア カンパニー 社内資料 (コンタクトレンズに関するアンケート 2018年11月)
2. Mead MN. Benefits of sunlight: a bright spot for human health. Environmental Health Perspectives. 2008;116(4):A160-A167.
3. Hammond B, Renzi-Hammond LM, Buch J, Nankivil D. Measuring total visual experience. Contact Lens Spectrum. 2018;33:32-38
4. Renzi-Hammond LM, Hammond BR, Jr. The effects of photochromic lenses on visual performance. Clinical & experimental optometry. 2016;99(6):568-574.
5. Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BE, Nondahl DM. Sunlight and the 5-year incidence of early age-related maculopathy: the beaver dam eye study. Arch Ophthalmol. 2001;119(2):246-250
6. Loeffler KU, Sastry SM, McLean IW. Is age-related macular degeneration associated with pinguecula or scleral plaque formation? Current Eye Research. 2001;23(1):33-37
7. Taylor HR, West S, Munoz B, Rosenthal FS, Bressler SB, Bressler NM. The long-term effects of visible light on the eye. Arch Ophthalmol. 1992;110(1):99-104.
8. Youn HY, Chou BR, Cullen AP, Sivak JG. Effects of 400 nm, 420 nm, and 435.8 nm radiations on cultured human retinal pigment epithelial cells. J Photochem Photobiol B. 2009;95(1):64-70.
9. Zareba M, Skumatz CM, Sarna TJ, Burke JM. Photic injury to cultured RPE varies among individual cells in proportion to their endogenous lipofuscin content as modulated by their melanosome content. IOVS. 2014;55(8):4982-4990
10. Ratnayake K, Payton JL, Lakmal OH, Karunaratne A. Blue light excited retinal intercepts cellular signaling. Sci Rep. 2018;8(1):10207
11. O'Hagan JB, Khazova M, Price LL. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. Eye (Lond). 2016;30(2):230-233
12. Thorud HM, Helland M, Areas A, Kvikstad TM, Lindberg LG, Horgen G. Eye-related pain induced by visually demanding computer work. OVS. 2012; 89(4):E452-464.