

# ドライアイ軽減のための まばたきリマインド機能の開発と評価

東覚瑠菜<sup>†1</sup> 神場知成<sup>†2</sup>

**概要:** ドライアイを軽減することを目的とし、利用者の瞬き回数を自動的に検知し、その状況によって瞬きをうながすシステムを開発した。パソコンに内蔵されたカメラで取得する利用者の顔画像から瞬きを検知し、一定のルールにしたがって画面上にリマインドを表示する。①リマインドをしない場合、②40秒に1回定期的にリマインドをする場合、③10秒間に瞬き回数が2回以下になった際にリマインドをする場合、④短い瞬き（不完全な瞬きと推定される）の割合が高くなった際にリマインドをする場合、を比較した。被験者6名による4分間の実験結果では、③の条件下でもっとも瞬き回数が多くなり、短い瞬きも少なくなった。さらに、①と③の条件で被験者3名による1時間の実験を行ったところ、リマインドのあるなしで瞬き回数の総数は大きく変わらないものの、10秒間当たりの瞬き回数の分散が減少する効果がみられ、リマインドが瞬き回数の安定化に貢献している可能性がある。インタビューの結果でも、③の方式のものを長時間使うことに肯定的な意見が多く、リマインドタイミングを適切に制御することで実用性の向上が期待できる。

## 1. はじめに

目の疲れや不調を感じる人は多いが十分な対策がとられているとは言えない。たとえばライオン株式会社がコロナ禍による外出自粛の状況の中で20~60代の男女合計300名に対して行った調査によると、目に対するケアは他の身体の部位と比べておそかな傾向があったとされている[1]。

従来から、眼精疲労にはVDT作業の影響が大きくVDT作業者の多くが眼精疲労の問題を抱えていることが知られている[2]。Thomsonによる調査では、コンピュータユーザの最大90%が、長時間コンピュータを使用した後で近くまたは遠くを見たときに、目の緊張、頭痛、目の不快感、目の乾燥、複視、視力障害などの視覚症状を経験する可能性があることが示され[3]、Dinesh J Bhanderiらが研究機関に勤務するコンピュータオペレータ419名を対象として行った調査では、194名(46.3%)が長時間のVDT作業後の眼の不快感を報告している[4]。

## 2. 従来の研究

ドライアイとは、涙液膜が崩れやすくなり目の不快感や見えにくさを生じる病気であり[5]、眼精疲労にはドライアイと関連する症状が多く含まれる。VDT作業におけるドライアイ症候群の割合は高く、原因の一つはVDT作業時に瞬きの回数が減ることであるとされている[2]。

Tsubotaらの調査[6]をもとに計算すると、コンピュータの使用中は、通常時と比べ30%ほど瞬きの回数が減少している。また同研究では104名のサラリーマンを対象に①リラックスしている時、②本を読んでいる時、③VDTでテ

キストを表示した時の3場面で瞬きの回数を比較し、それぞれ①平均22回/分、②平均10回/分、③平均7回/分とVDT作業時の瞬きの回数が一番少ないという結果を示している[6]。

ドライアイ対策では目薬等も用いられるが、薬を用いない対策の一つとしてNoschらは、VDT作業時に定期的に瞬きをリマインドするアニメーションを使用することで、瞬きの回数が増加し、ドライアイ改善につながる可能性があることを示した[7]。そこでは1分間あたりのリマインドの回数を1回、2回、または個人の通常時の瞬きの回数などに応じて設定するとともに、リマインドの際に瞬きする回数を被験者に指示した。その結果、リマインドの度に2回瞬きをするように指示した場合がもっとも効果的であり、ドライアイ改善に大きくつながると述べている。

しかし利用者が長時間作業をしている最中にずっと定期的に瞬きを指示すると、結果的にリマインドの回数が非常に多くなり、長期的には利用者の慣れが生じて効果が薄くなる可能性がある。またリマインド時に利用者に対して瞬き回数を明示的に指示することも、日常的な利用には適さない。このため本稿では、PCに内蔵されたカメラを用いて利用者の瞬き回数を自動的に検知し、瞬きの回数が減少してきたときだけリマインドを行う機能の提案をするとともに、利用者に対する瞬き回数の明示的な指示をしない状態での評価を行う。

さらに、近年では瞬きの質も重要視されている[8][9]。涙液を十分に眼球に行き渡らせるという点では不完全な瞬きがあるとされ、不完全な瞬きとして、完全に目を閉じていない場合などが指摘されている[8]。本研究では、瞬き回数に加え不完全な瞬き回数も検討に含める。

†1 東洋大学 情報連携学研究所

†2 東洋大学 情報連携学部

### 3. 提案システムの概要と実験手法

#### 3.1 システム構成

システム構成を図1に示す。システムは「瞬き検知機能」と「リマインド機能」から構成され、それぞれ下記のように実装している。

##### (1) 瞬き検知機能

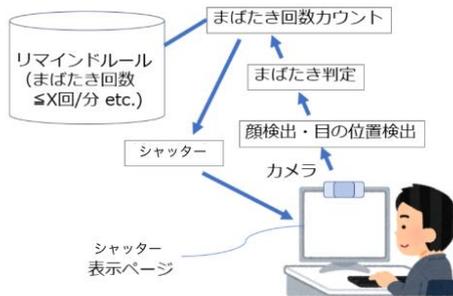


図1. システム構成

ユーザの PC 作業中、モニタ上部に設置されたカメラが顔画像を映し、画像処理により瞬きを検知する。瞬きの検知は Google によるオープンソースの機械学習ライブラリ MediaPipe (<https://developers.google.com/mediapipe>) を利用し、ライブラリによって検知された上下まぶたの距離が 0.02 以下になった場合を瞬きと判定している (図2)。予備実験によれば、実際の瞬き回数と本検知機能による測定回数の「ずれ」は、4分間でほぼ2回となった。



図2. 瞬きの判定

##### (2) リマインド機能

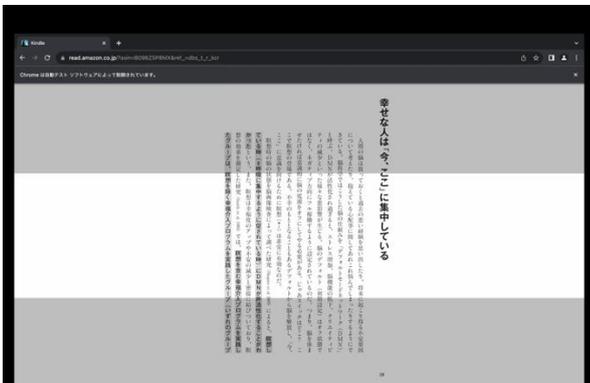


図3. 提示アニメーション

システムは、一定の条件が満たされたときにユーザに瞬きを促す。実装は、Selenium ライブラリで Chrome ブラ

ウザ上に表示されたページを制御した。リマインドには Nosch らが提案した手法 [7]を模倣し、シャッターのアニメーションを用いた。図3に示すグレーの帯が上下から中心に向かい、4秒で画面全てグレーになるとアニメーションが消える。

#### 3.2 実験手法



図4. 実験風景 (PC横のカメラは記録用)

上記のシステムを利用し、図4に示すような環境において下記のような実験を行った。なお、部屋が乾燥している際は瞬きの回数が増える可能性があるため、加湿器を用い部屋の湿度を最適とされる 40~50%に保った。

#### 3.3 実験 A

##### 3.3.1 実験概要

###### 1) 実験概要

日常的に PC を利用する被験者 9 名に、ノート PC 上で 4 分間読書をしてもらう。書籍の表示には Amazon Kindle のアプリを用い、読みやすい縦書きの実用書を使用した。ページめくりは被験者が矢印キーにより行った。システムは、あらかじめ設定した条件が成立したときに図3のようなシャッターのアニメーションをページ上に表示する。被験者に瞬きのリマインドをすることはあらかじめ伝えてあるが、その時に行うべき具体的な行動の指示はしていない。

###### 2) リマインド表示ルール

被験者 1 名あたり、瞬きを促すタイミングを下記に示す 4 つのルール R1~R4 でそれぞれ 4 分間ずつ行なった。実施順序は、全員が R1 を最初に行い、それ以後の 3 回はランダムに変更した。目の疲労を考慮し、一回の実験が終わるごとに 2 分程度の休憩を挟んだ。

R1) リマインドなし (ベースライン)

R2) 一定 (40 秒に 1 回)

R3) 瞬き回数が 10 秒あたり 2 回以下になった時

R4) 質の悪い瞬きが 40 秒あたり 2 割を超えた時

ここで R3 については、一般の人の通常時の瞬きが 1 分間あたり平均 10-16 回前後とされているため[5]、それを大幅に下回ることを防ぐように設定した。

R4 では、被験者に事前に「質の悪い瞬きが増えるとリマインドが出る」と伝えている。通常の瞬きでまぶたを閉

じている時間は 50ms 程度である[4]ことから、閉じている時間がそれ以下の短い瞬きを、質の悪い瞬きと判定した。

### 3.3.2 実験結果

PC 上に表示される書籍は全 256 ページあり、4 分間×4 ルールの合計 16 分間で、被験者はおよそ 20~30 ページ読んだ。実験は 9 人に対して行ったが、後述の理由によりここでは 6 名の結果を示す。4 分間のリマインド回数、瞬き回数、短い瞬きの比率を表 1~3 に示す。表 2 と 3 のいずれにおいても R3 がもっとも好成績（瞬きが多く、質の悪い瞬きが少ない）となっている。

表 1. 被験者 A~F に対する 4 分間のリマインド表示回数

	A	B	C	D	E	F	平均
R1	0	0	0	0	0	0	0
R2	6	6	6	6	6	6	6
R3	15	19	11	8	21	8	12.7
R4	4	4	4	5	5	3	4.2

表 2. 手法別の 1 分あたりの瞬き回数（被験者 A~F）

	平均	標準偏差
R1	8.7	4.6
R2	10.9	3.0
R3	14.0	5.5
R4	9.0	3.6

表 3. 手法別の短い瞬きの割合（被験者 A~F）

	平均(%)	標準偏差
R1	55.1	4.2
R2	63.2	15.0
R3	54.6	24.9
R4	65.9	20.3

### 3.3.3 考察

#### (1) リマインドタイミングについて

質の悪い瞬きを判定してリマインドする R4 では効果が見られず、瞬き回数に応じてリマインドをする R3 が、結果的には質の悪い瞬きも減らす結果となった。アンケートによると、R4 の方法では「なぜ質の悪い瞬きが多いと判断されたのかわからず使いづらかった」という意見が複数あった。

#### (2) 瞬き検知機能について

被験者 9 名中 2 名は縁の太いフレームのメガネをかけており、フレームとまぶたが度々重なることで瞬き検出精度が悪く、分析対象から外した。別の 1 名はすでに病院でドライアイと診断されており顕著に瞬きが多く、集計から除外した。実用面ではこれらの考慮が必要である。

### 3.4 実験 B

実験 A を踏まえ、長時間使用する上での効果と使いやすさを検証するため、1 時間の実験を行った。実験 A において R3（瞬き回数が 10 秒あたり 2 回以下になった時にアラート表示）の手法を用いることで瞬き回数を増加させる効果

があったため、実験 B では R0（リマインドなし）および R3 の手法を用い 1 時間の実験を行い、実用性などを確認する。また、実験 A では指定した書籍をモニタ上で読んでもらったが、実験 B では通常の PC 作業の効果を測るため、作業内容は自由とした。

#### 3.4.1 実験概要

##### 1) 実験概要

実験 A から任意に選ばれた 3 人の被験者が、1 時間 PC 上で自由に作業を行う。その間システムは、実験 A と同様に画面上にシャッターアニメーションを表示する（図 5）。被験者は、アニメーションが表示されるたびにそれを確認できるように、あらかじめブラウザのサイズと位置を自由に調節する。また、被験者には必要に応じて水分補給を自由に行うことを伝えた。

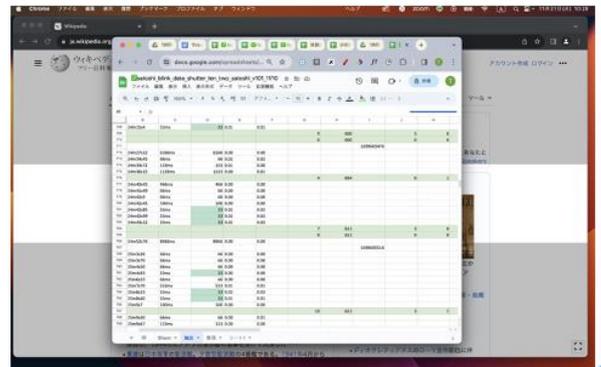


図 5. 実験時の画面

被験者の作業内容は自分で選択したものであり、各々異なっている。作業内容を下記に示す。

#### R1, R3 における作業内容

- 被験者 D：論文執筆
- 被験者 E：資料参照しながらレポート課題
- 被験者 I：資料参照しながらレポート課題

#### 2) リマインド表示ルール

R1) リマインドなし（ベースライン）

R3) 瞬き回数が 10 秒あたり 2 回以下になった時

#### 3) 瞬き検知精度

実験 B においてはデータの前処理を行った。実験 A では 4 分間の読書を行い、その際に姿勢が頻繁に動いて顔が画面からフレームアウトするなどなかったため、4 分間ずっと瞬きは正常に検知された。一方実験 B においては、作業内容を自由としたため姿勢が動きやすく、水分補給のため横を向く、スマートフォンを確認するなどにより画面から顔がフレームアウトし、正常に瞬き検知ができない時間が生じた。これらの事象が何分生じたか、録画ビデオを参照し目視確認を行い、これらの時間は分析から除外した。

加えて、瞬きが 9 回以上とされる値が 2 回以上連続で観測された場合、顔を下に向けた PC 操作が原因で誤検知された可能性が高かったため、除外した。

実験 A では、R3（瞬き回数が 10 秒あたり 2 回以下になった時にリマインド）において、被験者 D、E、I のいずれの被験者も瞬き回数が 10 秒あたり 9 回を上回ることにはなかった。

実験 A では被験者のタスクは読書で PC 操作が最小限であったのに対し、実験 B では資料参照、レポート執筆など PC 操作が多い。これは視線の動きの頻度を高め、それに伴い瞬きの回数を増加させる要因となったことも考えられるが、実験 B においては 10 秒あたり最大 9 回まで瞬きをする可能性は十分にあり、録画ビデオを用いた目視確認によってもこの事実は確認された。しかし、10 秒あたり 9 回以上の瞬きが 2 回以上連続で検知された場合、被験者はタスク実行中に顔を PC 画面に向けて下げたため生じる誤検知である可能性が疑われたため、データから除外した。除外したデータは欠損値として、その他の時間における瞬き数の平均値で埋めた。表 4 に、除外されたデータの累計時間を示す。

表 4. 一時間のうち除外されたデータ

	被験者 D	被験者 E	被験者 I	平均
R1	5 分 50 秒	3 分 40 秒	10 分 10 秒	6 分 33 秒
R3	0 分	4 分 20 秒	28 分 50 秒	11 分 3 秒

### 3.4.2 実験結果

#### (1) 瞬き回数

表 5 に、被験者ごとの 10 秒間の瞬き回数を示す。これによると、1 時間を通して見たときに 10 秒当たりの瞬きの回数は R1（何もなし）と R3（10 秒あたり 2 回以下でリマインド）の場合とで被験者によって増減が異なるが、標準偏差はすべての被験者で大きく減少しており、リマインドは瞬き回数を安定化させる効果があったと推定できる。

表 5. 被験者ごとの 10 秒ごとの瞬き回数

#### 被験者 D

	合計(1h)	平均	標準偏差
R1	1815	5.04	5.3
R3	1291	3.59	3.5

#### 被験者 E

	合計(1h)	平均	標準偏差
R1	1255	3.49	6.21
R3	1783	4.95	3.94

#### 被験者 I

	合計(1h)	平均	標準偏差
R1	1467	4.08	8.3
R3	1366	3.8	3.4

#### (2) リマインド表示回数

表 6 に、1 時間でのリマインド表示回数を示す。

表 6. リマインド表示回数

	被験者 D	被験者 E	被験者 I	平均
R1	0	0	0	0
R3	111	29	73	71

R1 はまったくリマインドをしない手法なので、R3 における実験 A（4 分間、読書）の場合と実験 B（1 時間、独自課題）における、1 分あたりのリマインド回数の比較を表 7 に示す。

表 7. 1 分ごとのリマインド表示回数の比較

	被験者 D	被験者 E	被験者 I	平均
実験 A	2.0	3.8	5.3	3.7
実験 B	1.9	0.5	1.2	1.2

これによると、いずれの被験者も実験 A よりも実験 B の方が、1 分あたりのリマインド表示回数は大幅に少なくなっている。4 分間の実験 A において、いずれの被験者もリマインド回数について不快感はないと答えたが、実験 B では実験 A より表示回数が少なくなっており、長時間のシステムの使用においても不快感はなかったと推定される。アンケートにおいても「不快感は少なく長期的に使用できそう」という意見が得られた。

#### (3) 瞬き回数・悪い瞬き率について

表 8. 被験者ごとの悪い瞬き率(%)

	被験者 D	被験者 E	被験者 I	平均
R1	19.0	56.8	27.8	32.0
R3	54.2	20.1	26.4	32.3

表 8 に、被験者ごとのわるい瞬き率（悪い瞬き数／総瞬き数）を示す。3 名中 2 名は質の悪い瞬き率が、リマインドがない場合と比較し、リマインドありの方が低くなったが、平均値としては差がない。当日の目の疲れ具合によっても個人の平均瞬き回数は変わるため、アラートの使用により質の良い瞬きを促すことができるかについて、より多くの被験者を集め、データを分析する必要がある。

#### (4) リマインド効果について

表 9 に、1 時間の間に瞬き回数が 10 秒あたり 2 回以下になった回数を示す。

表 9. 瞬き回数が 10 秒あたり 2 回以下になった回数

	被験者 D	被験者 E	被験者 I	平均
R1	39	142	109	97
R3	111	29	73	71

被験者 D は他の二人と大きく傾向が異なり、リマインドありの方が 10 秒あたりの瞬き回数が連続で 2 回以下となる回数が多かったが、原因の一つとして、タスクの内容が影響している可能性がある。R1（リマインドなし）の実験ではグラフ作成など、手元を多く見る、視線が頻繁に動くような PC 操作が多いタスクを行ったのに対し、R3（リマインドあり）の実験では、文章を書く、参考文献を読むなど比較的 PC 操作が少ないタスクを行っていたことも上記の結果の要因として考えられる。今後被験者を増やし実験を行う必要がある。

表 10. 連続して瞬き回数が 10 秒当り 2 回以下になった回数

	被験者 D	被験者 E	被験者 I	平均
R1	7	26	26	20
R3	22	3	9	11

さらに、連続して瞬き回数が 10 秒あたり 2 回以下になった回数を見ると（表 10）、被験者 E と I はそのような場合がシャッターありの方式で大幅に減少したことから、被験者がリマインドに気づき、瞬きを意識的に行ったことが推測される。実際に、10 秒ごとの瞬きの回数とリマインドのタイミングとの関係を詳細にみると、瞬き回数が減ってリマインドがあった時に、その直後の瞬き回数が増加している状況がいくつかある。たとえば図 6 は被験者 I の瞬きデータの抜粋である。青線が 10 秒当たりの瞬き回数を表し、縦の黄色線はリマインドが行われたタイミングを表すが、瞬き回数が減ったタイミングでリマインドが行われ、その直後に瞬き回数の上昇が見られる。このような状況がどれだけ発生しているかの分析は今後行う必要がある。

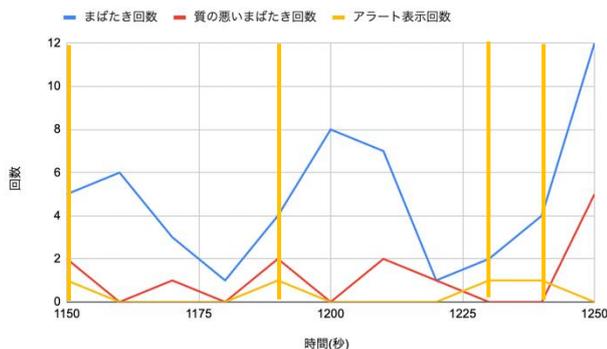


図 6. 被験者 I の瞬き回数の一部抜粋データ

### 3.4.3 考察

4 分間の実験ではリマインドがない時と比較して、ある場合に瞬き回数の増加が見られたが、1 時間という単位では、リマインドをすることで総瞬き回数の顕著な増加は見られなかった。一方、リマインドがない時と比較して、適切なリマインド（10 秒間に瞬き回数が 2 回以下になった時のリマインド）を行うことで、10 秒当たりの瞬き回数の

分散（標準偏差）が減少する傾向がある。眼球に空気が触れている時間が長いほど目の乾燥、ドライアイを加速させてしまうため、長時間瞬きをしない状況は少ない方が好ましい。仮に適切なリマインドが瞬き回数の安定化に貢献することが確認できれば、ドライアイに対する改善効果があると考えられるが、この検証は今後の課題となる。悪い瞬き率については、明確な効果を確認するに至らなかったが、意識的に瞬きを行うことは、良質な瞬きを促す可能性が高く、ドライアイ改善に繋がることが分かっている。

このように、リマインド機能によるドライアイ改善に繋がる可能性が示された一方、被験者以外で PC を日常的に利用する人にこのシステムを使用したいか否かをインタビューしたところ、以下のような意見が得られた。

#### 肯定的な意見

- “ドライアイ気味なので、ドライアイ症状が改善されるのなら使いたい”
- “知人がドライアイで大変そうなので、自分もなりたくないの効用があるなら使いたい”

#### 使用に否定的な意見

- “目が多少悪くなくても良いので、作業の邪魔をされたくない”
- “今の所目に異常を感じていないので、自分には必要ないと思う”

#### その他改善点に関する意見

- “1 日に 1 回など、瞬きの成績など表示してほしい。良い瞬きができておりアラート表示が必要ない際でも、良い瞬きができていますね、などあれば、使いたくなると思う”

このように、目の健康意識が高い人は使用意欲があるが、目の健康に興味がない場合、使用意欲が低いことが分かった。使用モチベーションを上げるためには、目の健康の重要性、提案システムによる効果をわかりやすく提示することが必要だと考えられる。また、使用モチベーションが低い人は、リマインドを邪魔だと感じやすいため、使用モチベーションが低いユーザに対してはリマインド回数を減らすなど、ユーザによりサービス内容を分けることも効果的であろう。さらに、PC 上で読書をする際はアイトラッカー等を用い、ユーザの視線が文末に置かれた際にアニメーションを提示する、コーディング中に一つの関数が完成したタイミングを見計らいアニメーションを提示するなどすることにより、アニメーションが作業の邪魔になりにくく、使用モチベーションを上げることができるだろう。

## 4. おわりに

ドライアイの軽減を目的とし、PC 利用者の作業中の瞬

きを検知し、適切なタイミングでリマインドを出すシステムの構築と実験を行った。常にリマインドを出すシステムでは利用者がわずらわしく感じたり慣れてしまったりする課題も考えられたが、瞬きが1分に2回以下に減少した時にリマインドを出す。という手法により、効果がありつつ継続的な利用につながる可能性を示した。

1時間の実験の結果、被験者はリマインドに気づき意識的に瞬きを行った可能性があり、インタビューにおいても長期的に使いそうだという意見が得られた。さらに、リマインド表示をした場合、リマインド表示しない場合と比べ、いずれの被験者においても瞬き回数の分散が小さくなった。このことから、リマインド表示により安定的な瞬きを促進でき、ドライアイ改善に繋がる可能性がある。

今後、長時間ディスプレイを見ることによる目への負担はさらに増え、それに伴いドライアイのような症状も増えると想定される。さらに改良を行うことで実用的なドライアイ対策へとつなげていきたい。

**謝辞** 本研究は、東洋大学重点研究推進プログラムにより助成を受けたものです。同助成に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] ライオン・外出自粛下の”目の疲れ・不調”に関する実態調査
- [2] Erdinest N, Berkow D. [COMPUTER VISION SYNDROME]. Harefuah. 2021 Jun;160(6):386-392. Hebrew. PMID: 34160157.
- [3] Thomson WD. Eye problems and visual display terminals--the facts and the fallacies. *Ophthalmic Physiol Opt.* 1998 Mar;18(2):111-9. PMID: 9692030.
- [4] D.J. Bhandari et al. : A community-based study of asthenopia in computer operators, *Indian J Ophthalmol.* 2008 Jan-Feb; 56(1): 51-55. doi: 10.4103/0301-4738.37596
- [5] ドライアイ：日本眼科学会ホームページ
- [6] Kazuo Tsubota and Katsu Nakamori: Dry Eyes and Video Display Terminals, *New England Journal of Medicine* 328 (8), 584-584 (1993).
- [7] Nosch DS, Foppa C, Tóth M, Joos RE. Blink Animation Software to Improve Blinking and Dry Eye Symptoms. *Optom Vis Sci.* 2015 Sep;92(9):e310-5. doi: 10.1097/OPX.0000000000000654. PMID: 26164310.
- [8] A. Fogelton and W. Benesova, “Eye blink completeness detection,” *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 176–177, pp. 78–85, 2018. doi:10.1016/j.cviu.2018.09.006
- [9] J. K. Portello, M. Rosenfield, and C. A. Chu, “Blink rate, incomplete blinks and Computer Vision Syndrome,” *Optometry and Vision Science*, vol. 90, no. 5, pp. 482–487, 2013.