



# International Journal of *Environmental Research and Public Health*

Change in Blink Rate in the Metaverse VR HMD and AR Glasses Environment

Jungho Kim ,Leehwan Hwang ,Soonchul Kwon and Seunghyun Lee

Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19(14), 8551; <https://doi.org/10.3390/ijerph19148551>

(Эта статья относится к разделу Цифровое здоровье)

Сигнальный перевод 2022 г. Куприяновский В.П. [v.kupriyanovsky@rut.digital](mailto:v.kupriyanovsky@rut.digital)

## Абстракт

Частота моргания, основная физиологическая реакция человека, напрямую влияет на глазные заболевания, такие как кератит и сухость глаз. Частота моргания в нормальных глазах появляется с постоянной частотой 6–30 раз в минуту и постоянна для каждого человека. В предыдущем исследовании частота моргания уменьшалась при просмотре контента с высокой интенсивностью и реалистичностью. Поэтому мы попытались исследовать изменение частоты моргания при просмотре контента в VR HMD (головной дисплей виртуальной реальности) и в очках AR (дополненной реальности). Мы сравнили и проанализировали частоту моргания в четырех средах: естественное состояние, просмотр монитора, просмотр шлема виртуальной реальности и просмотр очков дополненной реальности. Двадцать один участник (возраст  $26,87 \pm 3,31$  года) просматривали контент в течение 1 минуты в четырех средах. Для анализа изменений частоты моргания использовали однофакторный повторный дисперсионный анализ. Исследование показало, что частота моргания в среде с монитором, шлемом виртуальной реальности и очками дополненной реальности уменьшилась по сравнению с естественной средой. Сравнение среды VR HMD со средой очков AR показало, что частота моргания уменьшилась в среде VR HMD. Результаты этого исследования могут быть использованы для рекомендаций по безопасности использования контента (рекомендации по безопасному использованию контента из-за снижения частоты моргания) в среде VR HMD и очков AR, которые в настоящее время привлекают внимание в метавселенной.

Ключевые слова: частота моргания; метавселенная; шлем виртуальной реальности; AR-очки; руководство

## 1. Введение

Человек получает информацию из внешней среды через различные органы чувств. Среди них зрение является более высоким чувством, чем другие чувства, и играет важную роль в выявлении или помощи другим чувствам. Большинство способов, которыми люди получают внешнюю информацию, передаются через зрение [1,2,3].

Мигание, основная физиологическая реакция человека, вызывается взаимодействием между мышцей, поднимающей верхнее веко, которая поднимает веко, и круговой мышцей глаза,

которая закрывает веко. Когда обычно активированная мышца, поднимающая верхнее веко, деактивируется, а круговая мышца глаза сокращается, глаз закрывается. Когда прекращается сокращение круговой мышцы глаза и сокращается мышца, поднимающая верхнее веко, механизм, который открывает глаз, приводит к морганию [4,5,6].

Моргание — непроизвольное явление, при котором глаза закрываются и открываются со скоростью 100–400 мс [7]. В повседневной жизни моргание происходит бессознательно из-за подавления моргания, что угнетает активность зрительного восприятия в мозгу. Время подавления составляет примерно 200–250 мс, и оно происходит непосредственно перед миганием и сразу после него.

Типы моргания включают спонтанное моргание, рефлекторное моргание и произвольное моргание. Спонтанное моргание — это естественное движение глаз, которое происходит без внешних раздражителей и внутренних усилий. Этот тип движения глаз происходит в префронтальной части ствола мозга и происходит без сознательных усилий. Рефлекторное моргание возникает в ответ на внешний раздражитель. Это происходит быстрее, чем спонтанное моргание, и обычно вызывается тактильной, оптической или слуховой стимуляцией. Произвольное моргание является средством общения или социального взаимодействия, и его можно поддерживать нерегулярно, контролируя сознание. Мигание может происходить произвольно, если роговица нуждается в смазке или глаза нуждаются в защите в случае быстрого зрительного движения и близости. Произвольное моргание имеет большую амплитуду, чем рефлекторное моргание, и использует круговую мышцу глаза. На рисунке 1 показана нервная цепь, которая контролирует моргание (синяя линия: путь условного стимула, зеленая линия: путь безусловного стимула и красная линия: путь условного ответа).

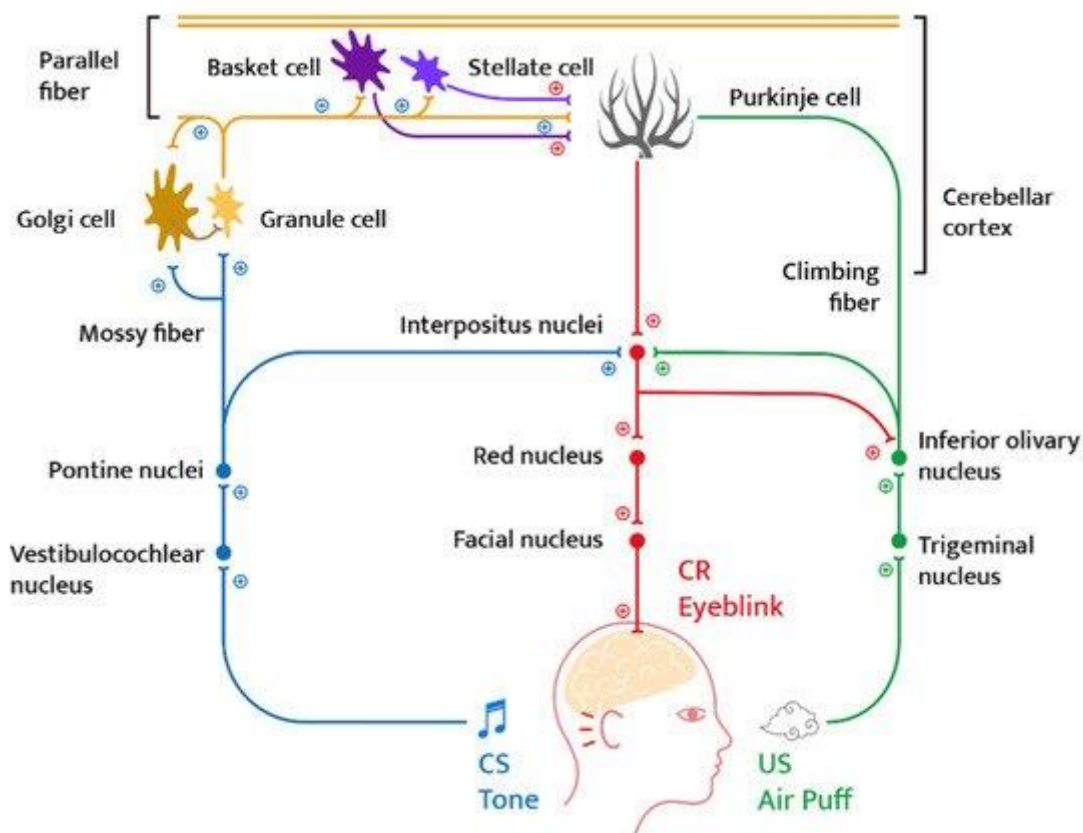


Рисунок 1. Основные нейронные схемы кондиционирования моргания (восстановление). (Источник: Доминик Т. Ченг и др. [8] «Классическое кондиционирование глазного моргания при алкоголизме и расстройствах алкогольного спектра плода», 2015 г.).

У людей с нормальным зрением спонтанное моргание происходит с определенной частотой. Факторами, влияющими на частоту моргания, являются состояние век, состояние глаз, состояние болезни, наличие контактных линз, психологическое состояние, окружающая среда, наркотики и др. ее раздражители. Частота моргания колеблется от 6 до 30 раз/мин [9,10].

Реакция на моргание напрямую влияет на офтальмологические заболевания, такие как кератит и сухость глаз [11,12,13]. В дополнение к офтальмологическим факторам слезная пленка на поверхности глаза равномерно распределяется во время моргания, чтобы устранить неровности роговицы и предотвратить дегидратацию роговицы и конъюнктивы. Кроме того, частота моргания снижается при просмотре иммерсивного контента; поэтому необходимо изучить взаимосвязь между просмотром таких реалистичных медиа и частотой моргания.

В целом частота моргания имеет тенденцию к снижению во время работы по сравнению с частотой моргания в состоянии покоя [14,15]. Кроме того, частота моргания имеет тенденцию к снижению во время чтения или выполнения сложных задач, поскольку они требуют большей зрительной нагрузки, чем обычные зрительные действия [16]. Чем выше степень фокусировки, тем ниже частота моргания [17,18]. Согласно различным экспериментам, связанным с морганием, у ведущего пилота более низкая частота моргания и более короткая продолжительность, чем у второго пилота в моделируемом полете. У людей, едущих по оживленным городским дорогам, частота моргания ниже, чем у тех, кто едет по тихим дорогам небольшого города [19]. В исследовании Kong et al. частота моргания была в два раза выше при взгляде на белую стену, чем при взгляде на монитор или чтении [20].

Мозг сосредотачивается на получении информации из окружающей среды или изображения и пытается лучше воспринять информацию, уменьшая частоту моргания.

Недавний метод отображения содержимого имеет форму метавселенной, которая подразделяется на виртуальную реальность, дополненную реальность, лайфлог (мобильный) и зеркальный мир. Поскольку метавселенная привлекает внимание как средство замены Интернета, в будущем ожидается экспоненциальный рост рынка. С развитием технологии иммерсивного опыта метавселенная, киберпространство, утвердится как расширяющаяся реальность физического реального мира. Кроме того, поскольку он используется в качестве цифрового мира наряду с реальным миром, время использования будет постепенно увеличиваться. Благодаря виртуальной реальности, одной из технологий познания метавселенной, расстояние между дисплеем и глазами стало меньше. Кроме того, доступ к сервисам дополненной реальности и лайфлогам осуществляется с помощью мобильных телефонов с меньшим размером дисплея, чем у существующих телевизоров или мониторов.

Если возбуждение интереса из-за использования иммерсивного контента на основе метавселенной увеличивается, это может проявляться в снижении частоты моргания, что может вызвать патологические воздействия на глаз.

В исследовании Sheedy et al. сухость глаз предполагается как один из внешних симптомов стабильной усталости [21], а ксерофтальмия может быть вызвана снижением частоты моргания. Сухость глаз сопровождается нарушениями зрения, воспалением глазной поверхности и глазным дискомфортом [22], вызывая такие симптомы, как раздражение, жжение и конъюнктивит.

В этом исследовании предлагается среда для измерения частоты моргания. Кроме того, было оценено влияние четырех сред (природная среда, монитор, головной дисплей виртуальной реальности (VR HMD) и очки дополненной реальности (AR)) на характер моргания, а также были предложены рекомендации по безопасности при использовании контента метавселенной. соответственно.

## 1.1. Носимый дисплей Метавселенной (VR и AR)

Головной дисплей (HMD) — это интерфейсное устройство, которое позволяет органам чувств человека, таким как глаза и уши, взаимодействовать с виртуальной средой. HMD — это устройство, которое включает в себя дисплей с высоким разрешением, GPS, гироскоп и устройство беспроводной связи. Он распознает движения пользователя и выводит соответствующее изображение [23,24,25].

Концепция и разработка концепции HMD началась в 1968 году. Прозрачный HMD, разработанный Иваном Э. Сазерлендом, является первым в мире примером использования HMD. Ранняя система HMD требовала множества единиц оборудования, таких как компьютер для генерации графики, компьютер для трекеров и компьютер для взаимодействия. Поэтому разработать HMD было непросто из-за низкой производительности компьютера и отсутствия программного обеспечения для разработки. Типы HMD, в зависимости от технологии отображения, включают в себя оптический сквозной дисплей, сквозной видеодисплей и непрозрачный тип дисплея.

### 1.1.1. Тип оптического прозрачного дисплея

Оптический прозрачный тип дисплея пропускает реальный свет через дисплей HMD [26,27]. Это метод, при котором свет, проходящий через дисплей, объединяется с изображением, генерируемым компьютером. В первые дни проходящий свет был уменьшен вдвое из-за использования полужеркала. Недавно разработанные модели переходят на использование проекторов и призм. Оптический сквозной тип имеет следующее преимущество: компьютерное изображение выводится в полупрозрачном состоянии и не загромождает обзор пользователю. Однако трудно сопоставить реальность, которую видит пользователь, с изображением, созданным компьютером. Метод отображения оптического прозрачного типа классифицируется как метод зеркального отображения мобильного телефона и якорный метод по технологии аугментации. На рис. 2 показана принципиальная схема оптического прозрачного дисплея.

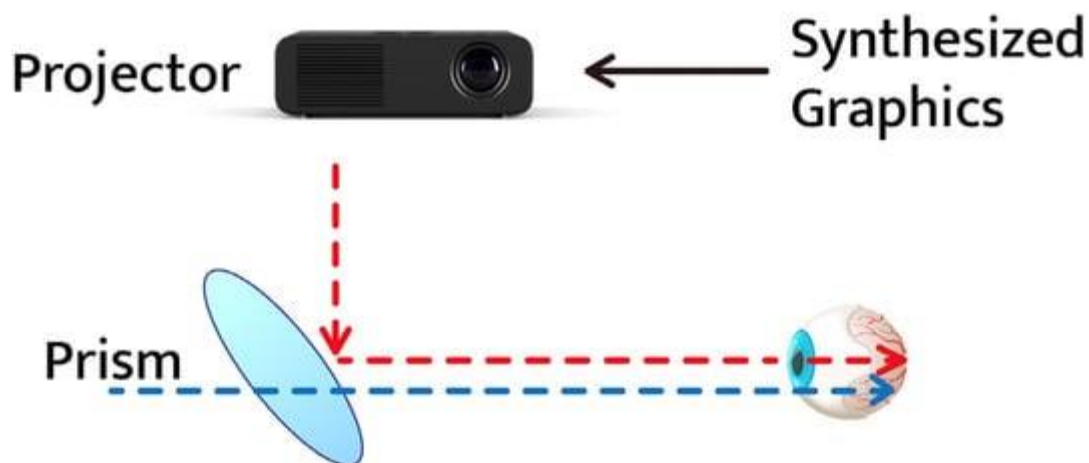


Рис. 2. Тип оптического прозрачного дисплея.

### 1.1.2. Тип прозрачного видео дисплея

Сквозной видеодисплей представляет собой метод синтеза изображения, полученного с помощью камеры, и изображения, сгенерированного компьютером, и вывода его пользователю [28]. Можно реализовать сквозной видеодисплей, прикрепив камеру к HMD и пару очков, которые не производятся как сквозной видеодисплей. Однако возможны задержки из-за работы камеры для синтеза изображений и графики. На рис. 3 показана схема сквозного видеодисплея.

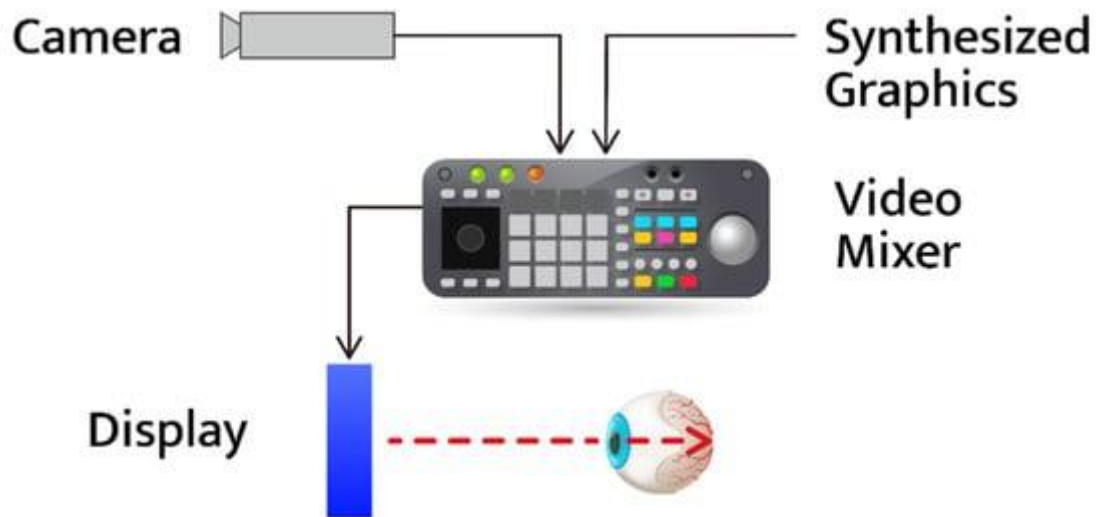


Рис. 3. Тип прозрачного видеодисплея.

### 1.1.3. Непрозрачный тип дисплея

В непрозрачном типе дисплея вид блокируется, так что внешняя среда не может быть визуализирована, а у пользователя сильное чувство погружения [29,30]. Он использует оптический метод, который использует линзу для увеличения дисплея с близкого расстояния. Это привело к популяризации HMD, ранее требовавшего дорогостоящего оборудования. Положение и поза пользователя отслеживаются с помощью инфракрасного датчика или датчика инерциального измерительного блока (IMU) в случае непрозрачного HMD. На рис. 4 показана схема непрозрачного дисплея.

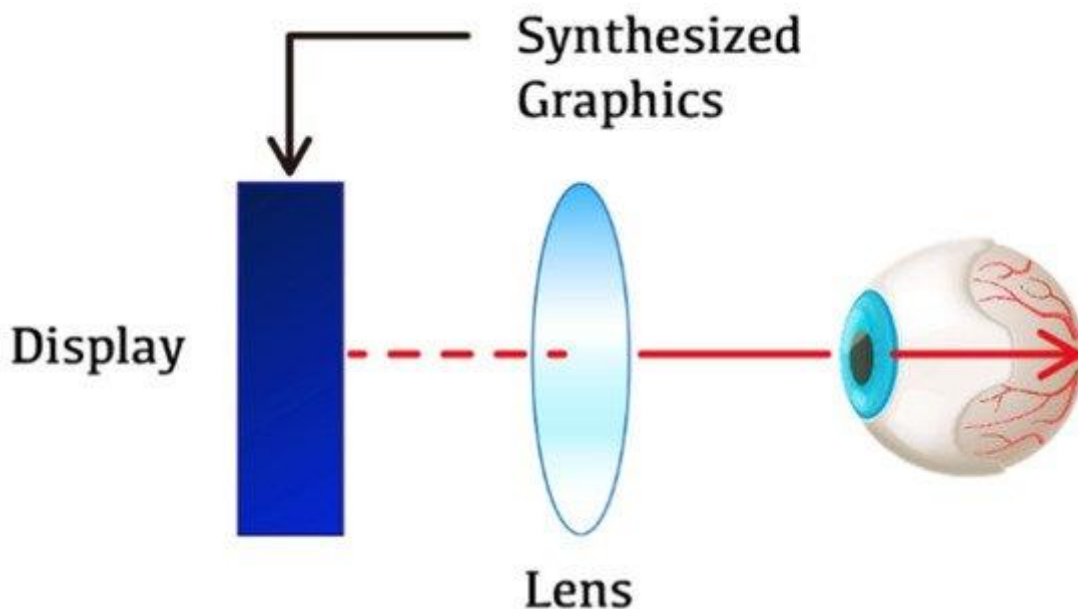


Рис. 4. Непрозрачный дисплей.

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Участники

Участниками, отобранными в этом эксперименте, были 21 человек (мужчины 16, женщины 5) в возрасте от 20 до 30 лет ( $26,87 \pm 3,31$  года), которые дали информированное согласие на участие в исследовании. У участников не было офтальмологических, психических или системных

заболеваний, а также скорректированное зрение вдаль и вблизи 0,8 или выше, а также отсутствие подавления в 4-точечном тесте.

Участники были набраны посредством уведомления в школе для сотрудников и студентов, которые работают и посещают университет Квангун. Участникам, завершившим эксперимент, была выплачена определенная плата за участие.

## 2.2. Экспериментальная среда

Перед началом эксперимента участники заполнили анкеты о физическом состоянии и анамнезе, чтобы проверить факторы, которые могли повлиять на результаты. Вопросы в анкете по анамнезу были разделены на три категории: работа, использование тела (упражнения и игры) и прошлый офтальмологический анамнез. Участники с факторами, влияющими на эксперимент, были исключены.

Эксперименты проводились в естественной среде, в мониторе, в шлеме виртуальной реальности и в очках дополненной реальности. После измерения частоты моргания в естественной среде участники случайным образом провели эксперимент в четырех средах, чтобы предотвратить эффект порядка.

Частоту моргания измеряли в течение 2 мин для стабилизации и затем в течение 1 мин, за исключением 30 с до и после. Для точности измерения участников не информировали об измерении частоты моргания.

Частота моргания в естественном состоянии измерялась с помощью камеры (модель: TD20, Sony, Токио, Япония) без уведомления испытуемого об измерении. Во время измерения испытуемый сохранял удобное сидячее положение на стуле, а после завершения измерения записываемый файл проверялся на определение частоты моргания. Измерение частоты моргания в условиях монитора проводилось с использованием 24-дюймового монитора (модель: Ultron 2457, Hantsung, Кимхэ-си, Корея). Эксперимент проводился на расстоянии просмотра 1,0 м. Он был записан камерой TD20 так же, как и природная среда, и после завершения измерения записанный файл был проверен для определения частоты моргания. В контенте использовалась «Бабушкина кукла». Частота моргания в среде VR HMD измерялась с помощью FOVE HMD для измерения частоты моргания при просмотре контента. Положение измерения было скорректировано с помощью камеры слежения за положением. Это было измерено путем определения того, было ли это моргание, с помощью окуляра, показанного в инструменте видеотладки камеры слежения за глазами HMD. Что касается контента, то «Бабушкина кукла» использовалась так же, как и среда монитора. Частота моргания в очках дополненной реальности измерялась с помощью HoloLens 2 во время просмотра контента. Измерения проводились в среде, в которой содержимое 3D-моделирования, предоставляемое HoloLens 2, свободно использовалось. На рис. 5 показано оборудование, использованное в эксперименте.



(a)



(b)



(c)



(d)

Рисунок 5. Оборудование, используемое в каждой среде для измерения частоты моргания: (а) камера TD20; (б) монитор Ultrон 2457; (с) FOVE HMD; и (d) Хололенс 2.

### 2.3. Анализ данных исследований

Анализ данных был выполнен с использованием одностороннего дисперсионного анализа с повторными измерениями (ANOVA) в SPSS (версия 18.0 для Window, SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс, США). Апостериорный анализ (разница между группами) был выполнен с использованием t-критерия парной выборки. Статистическая значимость была установлена на уровне  $p < 0,05$  с доверительным интервалом 95%.

Повторные измерения ANOVA являются расширением t-критерия парной выборки, в котором получают три или более измерений. Его можно использовать при получении измерений от одного и того же человека через равные промежутки времени и анализе результатов повторных измерений в зависимости от момента времени.

## 3. Результаты

### 3.1. Сравнение скорости моргания в естественной среде и в среде монитора

В таблице 1 и на рисунке 6 показано сравнение измеренной частоты моргания в минуту в естественной среде ( $18,05 \pm 2,56$  имп/мин) и в условиях монитора ( $15,81 \pm 2,09$  имп/мин). Частота моргания была сравнительно снижена ( $Z = -4,050$ ,  $\chi^2 = 57,466$ ,  $p < 0,001$ ) на статистически значимом уровне в условиях монитора.

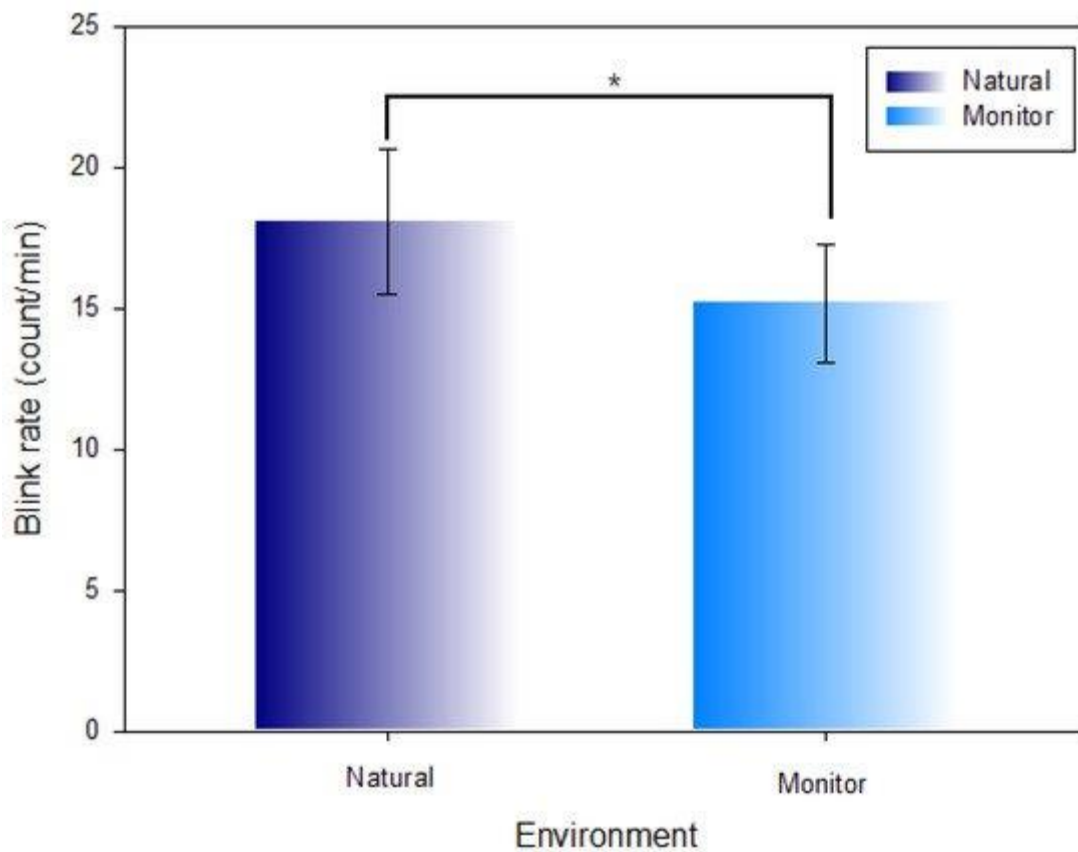


Рисунок 6. Сравнение частоты моргания в естественной среде и на мониторе (\*:  $p < 0,05$ ).

Таблица 1. Сравнение частоты моргания в естественной среде и в условиях монитора ( $n = 21$ ).

	M $\pm$ SD	Z	$\chi^2$	p-Value
Natural	18.05 $\pm$ 2.56	-4.050	57.466	$p < 0.001$
Monitor	15.81 $\pm$ 2.09			

Unit: count/min, SD: standard deviation, Wilcoxon signed-rank test.

### 3.2. Сравнение скорости моргания в естественной среде и в среде VR HMD

В таблице 2 и на рисунке 7 показано сравнение измеренной частоты моргания в минуту в естественной среде ( $18,05 \pm 2,56$  имп/мин) и в среде VR HMD ( $10,81 \pm 3,89$  имп/мин). Частота моргания была сравнительно снижена ( $Z = -4,017$ ,  $\chi^2 = 57,466$ ,  $p < 0,001$ ) на статистически значимом уровне в среде VR HMD.



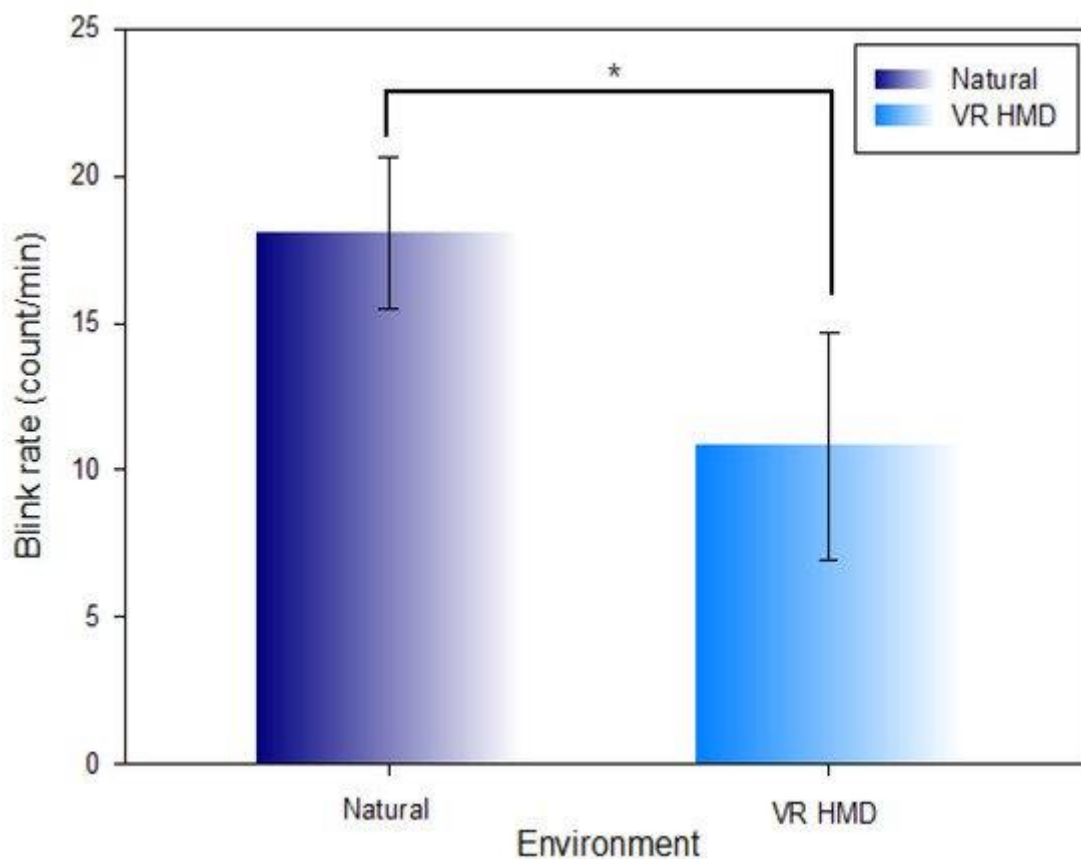


Рисунок 7. Сравнение частоты моргания в естественной среде и в среде VR HMD (\*:  $p < 0,05$ ).

Таблица 2. Сравнение частоты моргания в естественной среде и в среде VR HMD ( $n = 21$ ).

	M ± SD	Z	$\chi^2$	p-Value
Natural	18.05 ± 2.56			
VR HMD	10.81 ± 3.89	-4.017	57.466	$p < 0.001$

Unit: count/min, SD: standard deviation, Wilcoxon signed-rank test.

### 3.3. Сравнение частоты моргания в естественной среде и в очках дополненной реальности

В таблице 3 и на рисунке 8 показано сравнение измеренной частоты моргания в минуту в естественной среде ( $18,05 \pm 2,56$  имп/мин) и в среде очков дополненной реальности ( $14,19 \pm 1,97$  имп/мин). Частота моргания была сравнительно снижена ( $Z = -4,047$ ,  $\chi^2 = 57,466$ ,  $p < 0,001$ ) на статистически значимом уровне в среде очков AR.

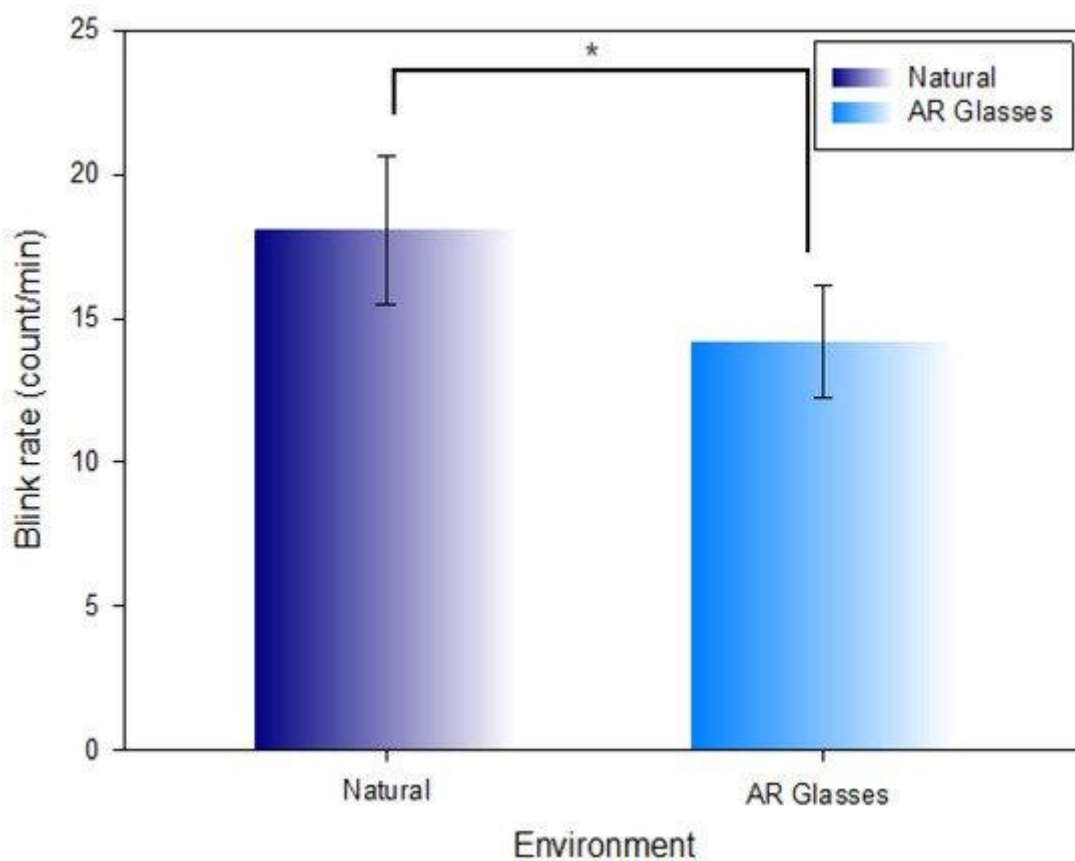


Рис. 8. Сравнение частоты моргания в естественной среде и в среде очков дополненной реальности (\*:  $p < 0,05$ ).

Таблица 3. Сравнение частоты моргания в естественной среде и в среде очков дополненной реальности ( $n = 21$ ).

	M ± SD	Z	$\chi^2$	p-Value
Natural	18.05 ± 2.56			
AR Glasses	14.19 ± 1.97	-4.047	57.466	$p < 0.001$

Unit: count/min, SD: standard deviation, Wilcoxon signed-rank test.

### 3.4. Сравнение частоты моргания в среде монитора и в среде VR HMD

В таблице 4 и на рисунке 9 показано сравнение измеренной частоты моргания в минуту в среде монитора ( $15,81 \pm 2,09$  имп/мин) и в среде VR HMD ( $10,81 \pm 3,89$  имп/мин). Частота моргания была сравнительно снижена ( $Z = -3,834$ ,  $\chi^2 = 57,466$ ,  $p < 0,001$ ) на статистически значимом уровне в среде VR HMD.

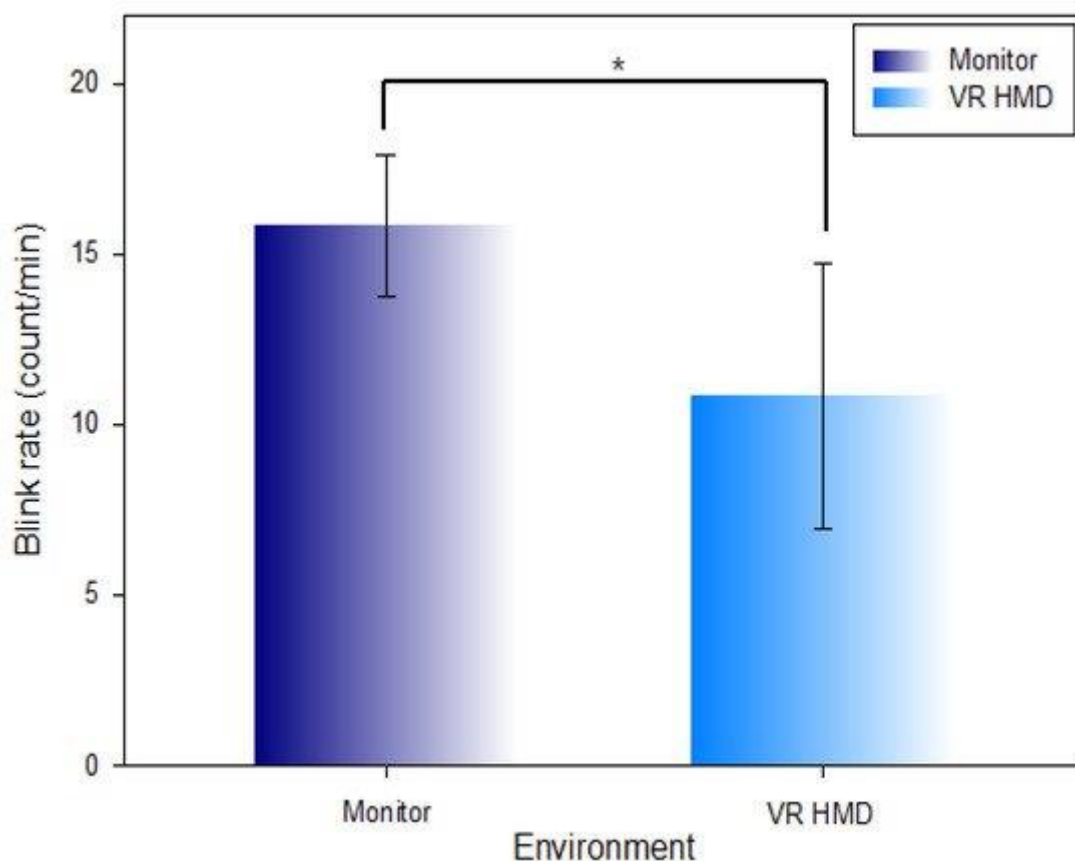


Рисунок 9. Сравнение частоты моргания в среде монитора и в среде VR HMD (\*:  $p < 0,05$ ).

Таблица 4. Сравнение частоты моргания в среде монитора и в среде VR HMD ( $n = 21$ ).

	M ± SD	Z	$\chi^2$	p-Value
Monitor	15.81 ± 2.09			
VR HMD	10.81 ± 3.89	-3.834	57.466	$p < 0.001$

Unit: count/min, SD: standard deviation, Wilcoxon signed-rank test.

### 3.5. Сравнение частоты моргания в среде монитора и в среде очков дополненной реальности

В таблице 5 и на рисунке 10 показано сравнение измеренной частоты моргания в минуту в условиях монитора ( $15,81 \pm 2,09$  имп/мин) и в очках дополненной реальности ( $14,19 \pm 1,97$  имп/мин). Частота моргания была сравнительно снижена ( $Z = -4,102$ ,  $\chi^2 = 57,466$ ,  $p < 0,001$ ) на статистически значимом уровне в среде очков AR.

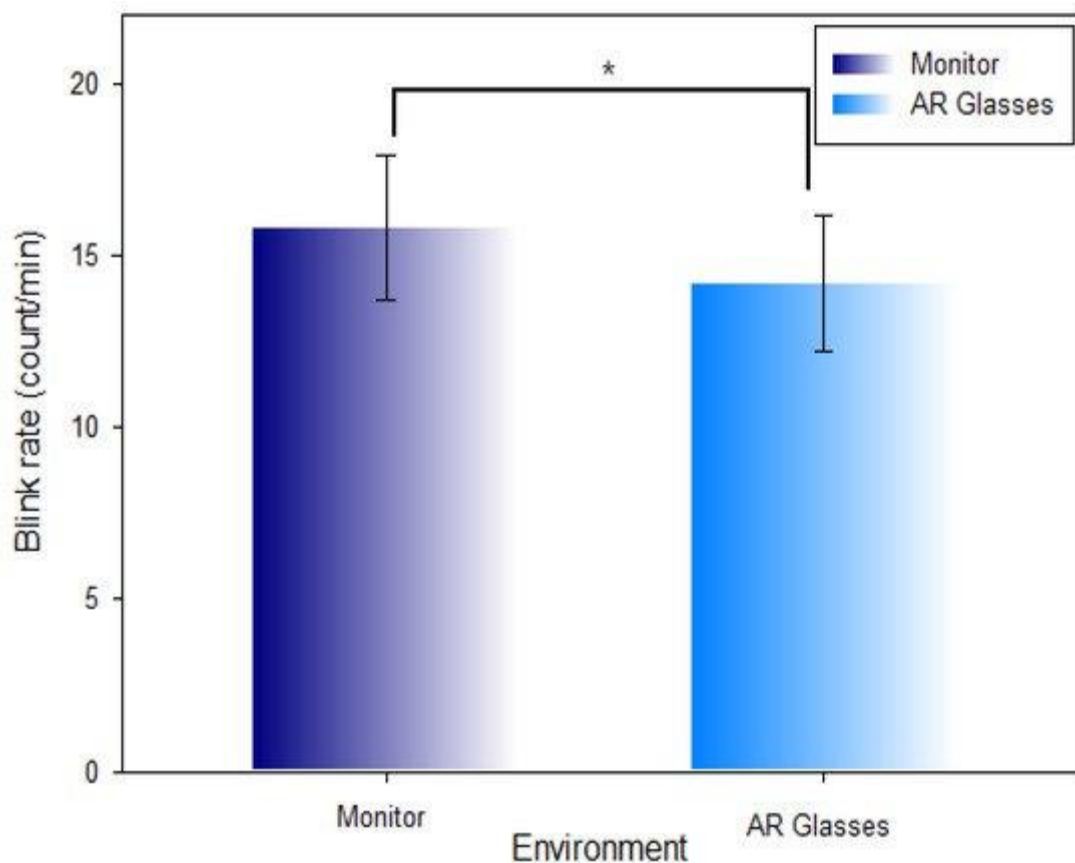


Рисунок 10. Сравнение частоты моргания в среде монитора и в очках дополненной реальности (\*:  $p < 0,05$ ).

Таблица 5. Сравнение частоты моргания в среде монитора и в очках дополненной реальности ( $n = 21$ ).

	M ± SD	Z	$\chi^2$	p-Value
Monitor	15.81 ± 2.09	-4.102	57.466	$p < 0.001$
AR Glasses	14.19 ± 1.97			

Unit: count/min, SD: standard deviation, Wilcoxon signed-rank test.

### 3.6. Сравнение частоты моргания в среде VR HMD и AR Glasses Environment

В таблице 6 и на рисунке 11 показано сравнение измеренной частоты моргания в минуту в среде шлема виртуальной реальности ( $10,81 \pm 3,89$  имп/мин) и в очках дополненной реальности ( $14,19 \pm 1,97$  имп/мин). Частота моргания была сравнительно снижена ( $Z = -3,148$ ,  $\chi^2 = 57,466$ ,  $p = 0,002$ ) на статистически значимом уровне в среде VR HMD.

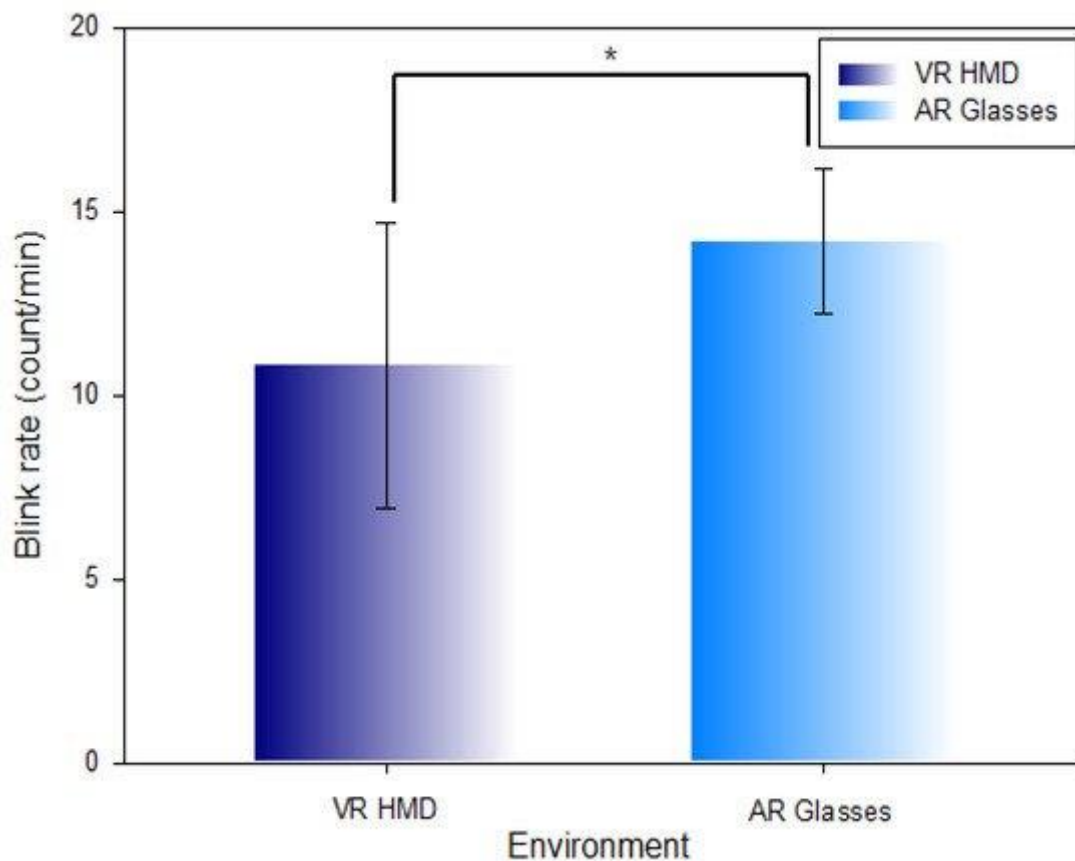


Рисунок 11. Сравнение частоты моргания в среде шлема виртуальной реальности и очков дополненной реальности (\*:  $p < 0,05$ ).

Таблица 6. Сравнение частоты моргания в среде VR HMD и в среде очков AR (n = 21).

	M ± SD	Z	$\chi^2$	p-Value
VR HMD	10.81 ± 3.89	-3.148	57.466	0.002
AR Glasses	14.19 ± 1.97			

Unit: count/min, SD: standard deviation, Wilcoxon signed-rank test.

#### 4. Дискуссия

Мигание является важным фактором физиологии глаз, а непроизвольное моргание контролируется механизмами, связанными с утомлением, потерей внимания и стрессом [31]. Скорость и продолжительность моргания используются в различных областях, таких как оценка сонливости [32], оценка рабочей нагрузки водителя [33], диагностика неврологических расстройств [34] и диагностика болезни Паркинсона (снижение скорости моргания).

Частота моргания уменьшается по мере того, как интенсивность взгляда становится сильнее, чем в естественном состоянии. Снижение частоты моргания приводит к патологическому действию окуляра, что требует повышенного внимания. Тода и др. [35] сообщили, что у 51,4% пациентов с жалобами на стабильную утомляемость наблюдалась сухость глаз, а у 71,3% пациентов с сухостью глаз наблюдалась устойчивая утомляемость. Частота моргания снижается в условиях, требующих работы в ближнем поле и с концентрация [14,15]; следовательно, симптомы сухости глаз могут ухудшиться до болезненного состояния при выполнении задачи, требующей распознавания.

В этой статье, по сравнению с естественной средой, частота моргания уменьшалась в следующем порядке: среда монитора, среда шлема виртуальной реальности и среда очков дополненной реальности. Кроме того, сравнение между средой монитора, средой VR HMD и средой очков AR показало, что частота моргания уменьшалась в порядке среды VR HMD, среды очков AR и среды монитора. Считается, что среда метавселенной увеличивает степень интереса и интенсивность взгляда. Такая же тенденция была отмечена и в предыдущих исследованиях [13,14,15,16,17,18,19], показавших снижение частоты моргания при выполнении зрительной деятельности с большей интенсивностью взгляда, чем при естественной зрительной деятельности.

Как правило, работа вблизи, например чтение, вызывает зрительное утомление, и степень утомления варьируется в зависимости от окружающей среды. В этом исследовании частота моргания была наименьшей в среде VR HMD, где физическое расстояние просмотра было близким. В общем, чтобы усилить ощущение погружения при воспроизведении иммерсивного контента, можно увеличить размер дисплея или уменьшить расстояние просмотра. По мере увеличения ощущения погружения концентрация содержимого увеличивается, а частота моргания уменьшается. Кроме того, по мере приближения расстояния просмотра происходит сужение хрусталика, и если это состояние сохраняется, возникает зрительное утомление. Среда содержимого на основе VR HMD полностью блокирует стимуляцию внешней реальности, поэтому видимым является только содержимое, отображаемое в HMD. Эта характеристика является фактором, который увеличивает ощущение погружения в содержимое VR HMD. Несмотря на отсутствие нагрузки на хрусталик из-за оптической выпуклой линзы, встроенной в HMD, при длительном использовании требуется осторожность, поскольку физическое расстояние между окуляром и дисплеем очень близко. Следует также отметить, что заболевания глаз могут возникать по мере увеличения времени использования содержимого в состоянии, в котором частота моргания снижена. Влияет частота моргания, а не зрительная усталость или когнитивный контроль [36]. Так как использование VR HMD в течение длительного времени может привести к развитию заболевания из-за снижения частоты моргания, необходимо воздержаться от его использования в течение длительного времени. Если его использование в течение длительного времени неизбежно, важно сделать перерыв. По сравнению с VR HMD, среда монитора и среда очков AR относительно близка к естественной среде и может быть менее обременительной для использования в течение длительного времени. Однако рекомендуется делать 5–10-минутный перерыв для произвольного моргания при использовании их в течение 60–70 мин.

## 5. Выводы

Метавселенная стала горячей темой, и частота использования оборудования в виде HMD и очков для знакомства с виртуальным миром и дополненной реальностью увеличилась. В этой статье была предпринята попытка оценить изменение частоты моргания в среде метавселенной с помощью экспериментов по измерению частоты моргания в естественной среде, среде монитора, среде VR HMD и среде очков AR. Учитывая текущий статус исследований, использование содержимого HMD с высоким уровнем погружения, по-видимому, является фактором, который может снизить частоту моргания. Моргание играет важную роль в предотвращении сухости роговицы, удалении инородных тел через слезы и предотвращении размытия изображения из-за движения глаз. Поэтому пользователи должны знать о физиологической роли моргания при использовании HMD.

Взрослым рекомендуется на некоторое время прекратить использование HMD и дать отдых глазам, если человек испытывает сухость. Дети нуждаются в достаточном руководстве со стороны родителей. Поскольку индивидуальная частота моргания очень важна для физиологии

глаза, скорость моргания при использовании специального контента следует рассматривать как основной функциональный фактор.

#### Вклад автора

Концептуализация, Дж.К. и С.К.; методология, Дж.К. и Л.Х.; программное обеспечение, Л.Х.; проверка, Дж.К. и С.Л.; формальный анализ, Дж.К. и С.Л.; расследование, С.К.; ресурсы, С.Л.; курирование данных, Дж. К.; написание - подготовка первоначального проекта, Дж. К.; написание-обзор и редактирование, С.Л.; визуализация, Дж. К., Л. Х. и С. К.; надзор, С.Л. и С.К.; администрация проекта, С.Л.; приобретение финансирования, S.L. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

#### Финансирование

Это исследование было поддержано MSIT (Министерство науки и ИКТ) Кореи в рамках программы поддержки ITRC (Исследовательский центр информационных технологий) (ИИТР-2022-2020-0-01846), контролируемой ИИТР (Институт информационных и коммуникационных технологий). Планирование и оценка). Это исследование было поддержано грантом Института планирования и оценки информационных и коммуникационных технологий (ИИТР), финансируемым правительством Кореи (MSIT) (№ 2020-0-00922, Разработка технологии печати голографических стереограмм на основе многокурсного изображения). Это исследование поддерживается Minis Культура, спорт и туризм и Корейское агентство креативного контента (номер проекта: R2021040083).

#### Заявление Институционального контрольного совета

Согласно IRB Университета Квангун (номер документа: Поддержка исследований — 29 января 2020 г.), это исследование подлежит освобождению от IRB, поскольку оно подпадает под «исследование, которое не связано с инвазивными действиями, такими как введение лекарств и сбор крови», и «исследование который использует только простое контактное измерительное оборудование или оборудование для наблюдения, которое не следует физическим изменениям».

#### Заявление об информированном согласии

От всех участников исследования было получено информированное согласие.

#### Благодарности

Настоящее исследование было проведено в рамках превосходного проекта поддержки исследователей Университета Квангун в 2021 году.

#### Конфликт интересов

Авторы объявили, что нет никаких конфликтов интересов.

#### References

1. Koppers, H. Schule der Farben: Grundzüge der: Farbentheorie für Computeranwender und andere. *DUMONT Lit. Und Kunst Verl.* **1992**, 1, 1–187. [[Google Scholar](#)]
2. Gardner, J.J.; Sherman, A. *Vision Requirements in Sport*; Sports Vision; Loran, D.F.C., MacEwan, C.J., Eds.; Butterworth-Heinemann: London, UK, 1995; pp. 167–170. [[Google Scholar](#)]
3. Jerald, J. The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. In *ACM Books*, 1st ed.; Morgan&Claypool: San Rafael, CA, USA, 2015; pp. 85–109. [[Google Scholar](#)]
4. Sibony, P.A.; Evinger, C.; Manning, K.A. Eyelid movements in facial paralysis. *Arch. Ophthalmol.* **1991**, 109, 1555–1561. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

5. Evinger, C.; Manning, K.A.; Sibony, P.A. Eyelid movements: Mechanisms and normal data. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* **1991**, *32*, 387–400. [[Google Scholar](#)] [[PubMed](#)]
6. Evinger, C.; Shau, M.D.; Peck, C.K.; Manning, K.A.; Baker, R. Blinking and associated eye movements in humans, guinea pigs, and rabbits. *J. Neurophysiol.* **1984**, *52*, 323–339. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
7. Langbehn, E.; Steinicke, F.; Lappe, M.; Welch, R.F.; Bruder, G. In the Blink of an Eye—Leveraging Blink-Induced Suppression for Imperceptible Position and Orientation Redirection in Virtual Reality. *ACM Trans. Graph.* **2018**, *37*, 66. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
8. Cheng, D.T.; Jacobson, S.W.; Jacobson, J.L.; Molteno, C.D.; Stanton, M.E.; Desmond, J.E. Eyeblink classical conditioning in alcoholism and fetal alcohol spectrum disorders. *Front. Psychiatry* **2005**, *6*, 155. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
9. Duke-Elder, S. *System of Ophthalmology, The Physiology of the Eye and of Vision*; The C. V. Mosby Co.: St. Louis, MO, USA, 1968; pp. 414–419. [[Google Scholar](#)]
10. Newell, F.W. *Ophthalmology*, 6th ed.; The C. V. Mosby Co.: St. Louis, MO, USA, 1986; pp. 201–202. [[Google Scholar](#)]
11. Lee, B.J.; Hong, J.H.; Jung, D.I.; Park, M.J. A study on the confidence of dry eye diagnosis methods. *J. Korean Ophthalmic. Opt. Soc.* **2008**, *13*, 15–20. [[Google Scholar](#)]
12. Doughty, M.J. Consideration of three types of spontaneous eyeblink activity in normal humans: During reading and video display terminal use, in primary gaze, and while in conversation. *Optom. Vis. Sci.* **2001**, *78*, 712–725. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
13. Gowrisankaran, S.; Nahar, N.K.; Hayes, J.R.; Sheedy, J.E. Asthenopia and blink rate under visual and cognitive loads. *Optom. Vis. Sci.* **2012**, *89*, 97–104. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
14. Schlote, T.; Kadner, G.; Freudenthaler, N. Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* **2004**, *242*, 306–312. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
15. Himebaugh, N.L.; Begley, C.G.; Bradley, A.; Wilkinson, J.A. Blinking and tear break-up during four visual tasks. *Optom. Vis. Sci.* **2009**, *86*, 106–114. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Patel, S.; Henderson, R.; Bradley, L.; Galloway, B.; Hunter, L. Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optom. Vis. Sci.* **1991**, *68*, 888–892. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Al-Abdulmunem, M.; Briggs, S.T. Spontaneous blink rate of a normal population sample. *Int. Contact Lens Clin.* **1999**, *26*, 29–32. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
18. Mackintosh, J.H.; Kumar, R.; Kitamura, T. Blink rate in psychiatric illness. *Br. J. Psychiatry* **1983**, *143*, 55–57. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Stern, J.A. What's behind blinking? *Sciences* **1988**, *28*, 43–44. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
20. Kong, M.B.; Kim, Y.M. A Study of Eye Blinking: I. *J. Hum. Eng. Soc. Korea* **1985**, *4*, 1–4. [[Google Scholar](#)]
21. Sheedy, J.E.; Hayes, J.N.; Engle, J. Is all asthenopia the same? *Optom. Vis. Sci.* **2003**, *80*, 732–739. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
22. Listed, N.A. The definition and classification of dry eye disease: Report of the definition and classification subcommittee of the international Dry Eye Workshop. *Ocul. Surf.* **2007**, *5*, 75–92. [[Google Scholar](#)]
23. Kim, Y.S. Virtual reality applied to the field of technology education simulation technology. *Korea Inf. Processing Soc. Rev.* **2011**, *18*, 56–59. [[Google Scholar](#)]
24. Bae, J.H.; Kim, J.J.; Noh, G.Y. An Experimental of the Effects of User Experience and Driving Attitude on Driving Simulation Game in Virtual Environment. *J. Korea Game Soc.* **2015**, *15*, 7–18. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
25. Lee, T.H.; Chae, E.M. The study of method of 3D installation art contents through new technology—With the case of 3D projection mapping technology expressing reality & virtual reality. *J. Digit. Des.* **2011**, *11*, 25–34. [[Google Scholar](#)]
26. Azuma, R.T. A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators Virtual Environ.* **1997**, *6*, 355–385. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
27. Choi, M.S. Augmented Reality and Storytelling. *J. Korean Lang. Cult.* **2020**, *73*, 433–459. [[Google Scholar](#)]
28. Lee, J.H. Research Issues and Major Design Considerations on Video See-through HMDs. *J. Converg. Cult. Technol.* **2019**, *4*, 345–353. [[Google Scholar](#)]
29. Lee, S.H.; Ha, G.T.; Cha, J.K.; Kim, J.H.; Lee, H.J.; Kim, S.H. CyberTouch-Touch and Cursor Interface for VR-HMD. *Commun. Comput. Inf. Sci.* **2015**, *528*, 503–507. [[Google Scholar](#)]
30. Palter, S.F.; Sobko-Koziupa, O.; Gilhuly, T.; Pyer, C. Use of a Head Mounted Display (HMD) Virtual Reality (VR) Headset as a Patient Distraction Device for Surgical Procedures Under Local Anesthesia/Sedation. *Fertil. Steril.* **2000**, *74*, s203. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
31. Andreassi, J.L. *Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response*, 4th ed.; Psychology Press: New York, NY, USA, 2000; pp. 1–23. [[Google Scholar](#)]
32. Benedetto, S.; Pedrotti, M.; Minin, L.; Baccino, T.; Alessandra, R.; Montanari, R. Driver workload and eye blink duration. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* **2011**, *14*, 199–208. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]



33. Deuschl, G.; Goddemeier, C. Spontaneous and reflex activity of facial muscles in dystonia, Parkinson's disease, and in normal subjects. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **1998**, *64*, 320–324. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
34. Caffier, P.P.; Erdmann, U.; Ullsperger, P. Experimental evaluation of eye-blink parameters as a drowsiness measure. *Eur. J. Appl. Physiol.* **2003**, *89*, 3–4. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
35. Toda, I.; Fujishima, H.; Tsubota, K. Ocular fatigue is the major symptom of dry eye. *Acta. Ophthalmol.* **1993**, *71*, 347–352. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
36. Orchard, L.N.; Stern, J.A. Blinks as an index of cognitive activity during reading. *Integr. Physiol. Behav. Sci.* **1991**, *26*, 108–116. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]