
ESTUDIO DE LOS MOVIMIENTOS SACÁDICOS DE RASTREO VISUAL EN LA PRÁCTICA DE LA ESCALADA MEDIANTE DISPOSITIVO “EYE TRACKER”

Facultad de Ciencias

Grado de Óptica y Optometría

2023-2024

Trabajo Fin De Grado



**Universidad
Zaragoza**

Autor:

Carlos Gracia Planas

Directores:

Sofía Z. Otín Mallada

Jorge Ares García

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. Introducción.....	3
1.1. La escalada.....	3
1.2. La visión y el deporte	4
1.3. Movimientos sacádicos	7
1.3.1. Técnicas de evaluación de movimientos sacádicos.....	8
1.4. La visión en la escalada	9
2. Justificación del tema	10
3. Hipótesis	10
4. Objetivos	11
5. Metodología	12
5.1. Diseño del estudio.....	12
5.2. Selección de la muestra	12
5.2.1. Consentimiento informado, criterios de inclusión y exclusión	12
5.2.2. Entrevista	13
5.2.3. Examen optométrico	13
5.2.4. Evaluación de los movimientos oculares mediante eye tracker	15
5.2.5. Planificación, escalada y re-planificación de la escalada.....	17
5.3. Recopilación de datos	18
5.4. Análisis estadístico.....	18
6. Resultados	19
6.1. Análisis descriptivo de toda la muestra de estudio.	19
6.2. Análisis descriptivo según grupos.	19
6.3. Análisis de los resultados de los movimientos oculares según grupos.	20
6.4. Análisis de las correlaciones entre las variables de estudio.	21
7. Discusión.....	22
7.1. Comentarios sobre el diseño del estudio y selección de la muestra	22
7.2. Comentarios sobre la metodología.....	23
7.3. Comentarios sobre los resultados	24
8. Conclusiones.....	25
9. Bibliografía	25

Tabla de Anexos

Anexo 1. Tabla de conversión de grados IRCRA.....	28
Anexo 2. Certificado aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Comunidad de Aragón (CEICA)	29
Anexo 3. Consentimiento informado.....	30
Anexo 4. Cuestionario sobre el nivel de escalada	31
Anexo 5. Diferentes niveles de vía en la KilterBoard	34

Abreviaturas

- Agudeza visual (AV)
- Agudeza visual estereoscópica (AVE)
- Asociación Internacional de Investigación de Escalada en Roca (IRCRA)
- Dioptrías prismáticas (Δ)
- Grados ($^{\circ}$)
- Milisegundos (ms)
- Píxeles (px)
- Píxeles por segundo (px/s)
- Segundos de arco (seg arc)
- Sensibilidad al contraste (SC)
- Sistema de clasificación francesa (FB)

RESUMEN

En este estudio se realizó una selección de escaladores de cualquier nivel, edad y sexo, para estudiar los movimientos sacádicos de rastreo visual a la hora de previsualizar una vía mediante un dispositivo Eye Tracker. La muestra a analizar se agrupó según su grado de escalada definido por la IRCRA en: grupo avanzado e intermedio.

En el rocódromo (Bulderland) se evaluaron las funciones visuales y los movimientos oculares mediante el dispositivo Neon (Pupil Labs) y se comprobó si se podía utilizar este instrumento para grabar y evaluar los movimientos sacádicos en la previsualización en unas vías personalizadas para cada nivel en la pared Kilter Board. Se analizaron los datos para observar si mostraban diferencias estadísticamente significativas o no entre los grupos de estudio, además de si mantenían algún tipo de correlación.

Los resultados de las pruebas concluyeron que el dispositivo Neon permite examinar y evaluar los movimientos sacádicos de los participantes durante la previsualización de una vía de escalada. La evaluación de estos movimientos oculares de los diferentes grupos concluyó con que no existía ninguna diferencia estadísticamente significativa entre los dos grupos. Sin embargo, se encontraron correlaciones entre el grado del escalador, nivel IRCRA, los años de experiencia, el tiempo de visualización de la vía y parámetros de motilidad ocular: el número, velocidad y amplitud de los sacádicos.

ABSTRACT

In this study, climbers of any level, age, and gender were selected to examine saccadic eye movements during the previsualization of a climbing route using an Eye Tracker device. The sample was grouped according to their climbing grade, defined by the IRCRA, into advanced and intermediate groups.

At the climbing gym (Bulderland), visual functions and eye movements were evaluated using the Neon device (Pupil Labs). The study aimed to find if this instrument could be used to record and evaluate saccadic movements during previsualization on customized routes for each level on the Kilter Board wall. The data were analysed to see if they showed statistically significant differences between the study groups and to find any correlations.

The test results concluded that the Neon device allows for the examination and evaluation of participants' saccadic movements during the previsualization of a climbing route. The evaluation of these eye movements among the separated groups showed no statistically significant differences between the two groups. However, correlations were found between the climber's grade, IRCRA level, years of experience, route visualization time, and ocular motility parameters: the number, speed, and amplitude of the saccades.

1. Introducción

1.1. La escalada

La escalada es una actividad física que requiere de mucha habilidad, coordinación y equilibrio para poder realizarla adecuadamente. Consiste en la subida o ascenso, de una persona, mediante sus propios medios físicos por paredes, grietas, salientes, relieves o zonas de diferentes inclinaciones naturales o artificiales. La escalada se ha ido extendiendo globalmente convirtiéndose en un deporte con un elevado número de practicantes en sus distintas modalidades. (1) Podemos hablar de diferentes tipos y maneras de escalada:

- **Escalada alpina:** Este tipo de escalada se realiza en alta montaña durante un gran periodo de tiempo con el objetivo de llegar a la cima. Podemos definir diferentes técnicas: 1) Escalada libre: El escalador sólo puede usar su cuerpo para avanzar en la subida sin el uso de seguros. 2) Escalada clásica o tradicional: Se trata de subir una vía desnuda de seguros, donde el primer escalador pone sus propios seguros aprovechando la naturaleza de la pared o haciendo una instalación propia mediante una perforación para evitar la caída. 3) Escalada deportiva: Es la evolución de la escalada tradicional, caracterizándose por asegurar de forma fija la vía y disminuir el riesgo de los escaladores, pero aumentar el nivel de dificultad. Sus sistemas de seguridad son anclajes permanentes en la pared. 4) Escalada de bloque: Es un tipo de escalada integral que no necesita de medidas de seguridad, excepto de una colchoneta en el suelo y un compañero atento (porteador) encargado de dirigir la caída a la colchoneta. Esto es debido a que se suben paredes no muy altas, de 4 a 10 metros de altura.
- **Escalada en Rocódromo:** Se considera como un gimnasio de escalada. Son instalaciones con vías de material artificial de resina sintética, suelo acolchado y medidas de seguridad para reducir el riesgo de lesión. Éstos pueden estar destinados a la práctica de la escalada deportiva y de bloque o más conocido como **Bulder**. Esta última modalidad es la que se ha trabajado en el estudio que se presenta a continuación. La escalada Bulder se caracteriza por la subida de paredes de poca altura, similar a la escalada de bloque. Además, los pasos para completar la vía suelen ser técnicos y dinámicos. Tampoco se utilizan dispositivos de protección, ya que el suelo este acolchado y permite caídas sin riesgo de lesiones.

Cada vía, en cualquiera de sus modalidades, tiene asignado un nivel de dificultad en función del compromiso, fuerza y equilibrio que requiere su ejecución. Esta graduación no estaba estandarizada y difiere según el país en el que nos encontremos. En Europa, la escala más utilizada es el sistema de clasificación francesa (FB), donde el nivel más básico es el grado 1

y el nivel más difícil es 9, en concreto el 9c. Las letras representan un pequeño mayor grado de dificultad que el propio número individual. Las diferentes graduaciones conocidas se pueden comparar en la tabla de conversión (Anexo 1) que realizó la Asociación Internacional de Investigación de Escalada en Roca (IRCRA) homogeneizando las diferentes escalas para su aplicación en la investigación. (2,3)

La habilidad de un escalador se define en función del mayor grado de vía que es capaz de ascender de forma personal y, posteriormente, se puede añadir el conocimiento de la ruta que tiene el escalador previamente a su ascenso, diferenciando entre grado a vista y grado ensayado. El grado a vista es el considerado por IRCRA como aquel que consiste en que el escalador no dispone de ningún tipo de información previa de la vía antes de su ascensión, cuando se disponga a afrontarla, como es en el caso de la escalada de competición, únicamente dispondrá de un máximo de 3 minutos para la previsualización. Este es el grado que utilizaremos para la clasificación del sujeto en investigación. Por otro lado, el grado ensayado es aquel en el que la vía ya ha sido probada y examinada con anterioridad (4)

1.2. La visión y el deporte

El 90% de información percibida del entorno se obtiene del sistema visual. Es por esto que es un factor muy relevante en el mundo deportivo y crucial para poder reaccionar de una manera adecuada a las diferentes situaciones y adversidades que hay que afrontar en las diferentes disciplinas deportivas. La evaluación del sistema visual nos ayuda a identificar posibles áreas de mejora y también, en comprender como los atletas perciben y reaccionan a su entorno visual, donde esta no solamente se limita a la capacidad de discernir un optotipo de alto contraste a una distancia de 6 metros como es la tradicional medida de la agudeza visual, sino en diferentes características que componen el procesamiento de información del sistema visual (5). Se podrían enumerar como (6):

- **Evaluación de la Agudeza visual (AV):** Mide la capacidad del sistema visual para distinguir dos estímulos próximos entre sí, que subtienden un ángulo determinado en relación con el globo ocular, bajo unas condiciones de iluminación y contraste predeterminadas. La evaluación de la AV se puede clasificar en varias categorías:
 - o AV Central: Capacidad resolutive para diferenciar detalles centrales muy finos utilizando el campo foveal o fijación central.
 - o AV Periférica: Capacidad para discernir estímulos haciendo uso únicamente del campo visual periférico o fijación excéntrica.

Adicionalmente, se pueden evaluar en dos contextos distintos:

- o AV estática: Evaluación de un estímulo inmóvil.
- o AV dinámica: Evaluación realizada con un estímulo en movimiento.

- **Evaluación del sistema de Acomodación:** La acomodación es el mecanismo que regula el poder dióptrico del cristalino para aumentar la potencia dióptrica del ojo como sistema óptico y poder enfocar la imagen sobre la retina independientemente de la distancia a la que se encuentre el objeto. La capacidad total de acomodación disminuye progresivamente con la edad por el envejecimiento del musculo ciliar y del cristalino, siendo prácticamente nula alrededor de los 60 años. Este proceso consta de diferentes mecanismos: el reflejo de acomodación, la vergencia acomodativa, la acomodación proximal y la acomodación tónica, dando explicación a la relación que existe entre el estímulo acomodativo, el efecto y la respuesta motora. La acomodación se ve estimulada por:
 - o Acomodación central: Está controlada por el estímulo foveal, permitiendo un enfoque rápido de alta precisión, esencial para actividades que requieran una visión detallada.
 - o Acomodación periférica: El ojo responde a cambios del entorno visual que no están directamente en la zona foveal. La precisión y rapidez de respuesta es menor que la central, pero es relevante para mantener un enfoque y percepción continuo del campo de visión periférico. La acomodación periférica contribuye significativamente a la estabilidad y adaptación visual en un entorno dinámico ayudando a obtener una visión nítida.
- **Evaluación de la sensibilidad del campo visual:** El campo visual es la porción del espacio que monocularmente es capaz de abarcar un sujeto mirando a una posición fija. El campo visual se corresponde en proyección sobre áreas concretas de la retina neurosensorial definiendo sus límites, sensibilidad lumínica y capacidad resolutive. Desde el punto de fijación seleccionado, el campo visual se extiende superiormente 50°, mientras que nasalmente 60°. La porción inferior unos 70° y se extiende más de 90° por la parte temporal. El llamado campo visual binocular está formado por la superposición de los campos que se obtienen monocularmente. Estos suman una porción lateral de más de 200° y verticalmente de hasta 130°. Clínicamente se suelen utilizar los términos:
 - o Campo de visión central: Comprende los 30° centrales. El área foveal, se encuentra en esta zona y corresponde a la más céntrica del campo (3°-5°), está formada por conos, responsables de la visión nítida y detallada de todo el campo. La densidad de conos disminuye gradualmente hasta llegar a los 30°, mezclándose con los bastones. Toda esta área se llama, zona perifoveal. La resolución visual en esta área es menor que en comparación con la foveal.
 - o Campo de visión periférico: Comprende el resto del campo visual extendiéndose desde los 30° centrales hacia la periferia. Compuesto

mayoritariamente por bastones, encargados de detectar objetos u estímulos. El detalle de información visual aquí es menor que en el campo central, pero es crucial para la percepción del movimiento y la planificación de los movimientos oculares necesarios.

En algunos campos de la optometría, se considera campo visual periférico aquel en el que no se fija la dirección de mirada y por tanto no es central o foveal, pero tampoco periférico. Explicado de otra manera, estaríamos dirigiendo la atención al entorno alrededor de donde se fija la línea de mirada.

- **Evaluación de la sensibilidad al contraste (SC):** La sensibilidad al contraste se define como la inversa del umbral de contraste, el mínimo necesario para distinguir un estímulo. Es decir, si un estímulo precisa de mucho contraste para poder ser distinguido, entonces tendrá un valor de SC bajo y, por ende, el sujeto examinado una mala calidad visual. Contrariamente, si éste distingue estímulos con bajo contraste, poseerá una elevada SC y mayor calidad visual. La SC no solo depende del contraste, sino también de factores como la orientación y frecuencia espacial por la que esté compuesto el estímulo.
- **Evaluación de la agudeza visual estereoscópica (AVE):** La AVE, también conocida como estereopsis, es la capacidad del cerebro para discernir puntos ligeramente desplazados por delante y por detrás del estímulo. De este fenómeno, que está proyectado en el campo visual, se obtiene un área de cierta anchura llamada área fusional de Panum. Las imágenes obtenidas por los ojos enfocados en el mismo estímulo no son idénticas, pero si están dentro del área de Panum son integradas cerebralmente de manera tridimensional, formando lo que llamamos una imagen estereoscópica. La AVE mide la capacidad de discriminación y resolución del sistema visual para resolver distancias en términos de profundidad mínima entre estímulo superpuesto a otro, expresadas como ángulos.
- **Los movimientos binoculares:** Son movimientos producidos por los dos ojos de manera coordinada. Pueden ser automáticos, involuntarios; orientados a compensar los movimientos vestibulo-oculares y reflejos optocinéticos, con la finalidad de estabilizar y fijar la imagen en la retina, así como los microsacádicos asociados se encargan de mantener la fijación foveal, con una amplitud de alrededor 1º y una duración máxima de 100ms (7). También se pueden presentar los movimientos voluntarios, como los que se utilizan para localizar o seguir un objeto en movimiento en los ejes X e Y del espacio, son llamados movimientos de seguimiento. En el eje Z, se realizan movimientos de aproximación (convergencia) o separación (divergencia), llamados vergencias. Para cambiar el punto de fijación de un punto a otro del campo visual rápidamente se utilizan los movimientos sacádicos.

- **Tiempo de reacción:** no está considerada una función visual aislada puesto que requiere de la intervención del cerebro y en algunas ocasiones no es el sistema visual el que participa sino el auditivo o del tacto. El sistema visual recibe el estímulo o información, la procesa y genera una reacción. En el deporte, el tiempo de reacción es crucial para el rendimiento, ya que cuanto antes vea o consiga fijar el estímulo, antes se dará la probabilidad de éxito en su próximo movimiento.

1.3. Movimientos sacádicos

Los sacádicos son movimientos oculares muy rápidos y coordinados, caracterizados por una fijación y detención brusca. Son fundamentales para recolocar rápidamente la fovea en una nueva ubicación del entorno que precisa atención, además de para realizar el rastreo del campo visual eficaz con unos pocos movimientos precisos en los puntos que forman el área de interés. Pueden llegar a alcanzar velocidades superiores a 500 grados por segundo y su duración varía según la amplitud del movimiento demandado, pero generalmente no supera unos pocos milisegundos (8). Para la ejecución de los sacádicos están involucradas una serie de estructuras corticales y subcorticales, interconectadas por circuitos complejos, del que forman parte: los lóbulos frontal y parietal, además del colículo superior, el tallo cerebral, el mesencéfalo y los ganglios basales. Todas estas áreas trabajan en conjunto para calcular la dirección, velocidad y amplitud del movimiento necesario. (9)

Este tipo de movimientos pueden ser automáticos, sin conciencia para explorar eficientemente el entorno, o inducidos voluntariamente, para obtener información visual lo más rápido posible sobre donde se quiere poner la atención visual como en el caso de la lectura. Los sacádicos se pueden dividir en:

- Anti-sacadas: Son movimientos oculares voluntarios inhibitorios ante un estímulo periférico llamativo, generando una respuesta contraria hacia el lado opuesto de este estímulo. (10)
- Sacadas reflexivas o prosacada: Son movimientos guiados simples con la finalidad de redireccionar la mirada hacia un estímulo de interés. (10)
- Sacadas predictivas: Se trata de la alternancia entre posiciones fijas en intervalos de tiempo fijo. Están basadas en la memoria de acciones previas produciendo movimientos de anticipación ante objetivos nuevos con tiempos de reacción cercanos a cero. (10)

Algunas sacadas no son precisas del todo y no alcanzan el objetivo deseado. Si esto ocurre es probable que se produzcan sacadas correctivas, o regresiones, que siguen a los sacádicos primarios, con una latencia media de unos 300 ms para poder llegar al estímulo demandado. (11)

Cualquier movimiento sacádico va acompañado de una inhibición de la percepción visual durante el desplazamiento. En el transcurso de este movimiento, la imagen retiniana no es perceptible, conocida como supresión sacádica. La supresión sacádica es crucial para mantener una percepción visual clara y sin interrupciones durante los sacádicos. (12)

Los movimientos sacádicos son un área activa de investigación que ayuda a entender mejor el procesamiento, atención y memoria visual además de cómo desarrollar mejores tratamientos para trastornos y enfermedades neurológicas que afectan a la motricidad ocular.

1.3.1. Técnicas de evaluación de movimientos sacádicos.

Los sacádicos son cruciales para el desempeño eficaz de múltiples tareas, rutinarias y/o del ámbito deportivo, y pueden ser evaluadas mediante diferentes métodos y pruebas tanto subjetivas como objetivas. A continuación, se nombran los más habituales en la práctica optométrica:

- **Test NSUCO:** Prueba que evalúa de manera subjetiva los movimientos oculares de seguimiento y sacádicos mediante barras con estímulos esféricos en sus extremos. El paciente deberá seguir las instrucciones del examinador fijándose en los respectivos estímulos, mientras se evalúa si son movimientos suaves, precisos, extensos, completos y de si requieren de refijaciones y movimientos corporales o de la cabeza.
- **Test King-Devick:** Evalúa el rendimiento de los sacádicos en la lectura mediante diferentes tipos de tarjetas. Consta de 4 tarjetas, incluyendo la de demostración, con secuencias numéricas en filas horizontales, dispuestas en diferentes posiciones y con una dificultad gradual. Mide la precisión y velocidad cronometrada de los movimientos sacádicos a la hora de leer los números tratando de no cometer errores.
- **Test Develomental Eye Movement (DEM):** Evalúa los movimientos sacádicos y la velocidad de procesamiento visual en pruebas visuoverbales de rastreo, compuesto por 4 test diferentes de lectura, incluyendo el pretest, dispuesto con números en columnas verticales y horizontales. Midiendo el tiempo que le cuesta y la calidad de la lectura al evaluado en cada prueba con sus respectivas sustituciones, omisiones, adiciones o trasposiciones. Al final se realiza un cálculo de ajuste teniendo en cuenta el tiempo y los errores que se han cometido dando un resultado que se puede comparar con datos normalizados.
- **Visagraph:** Es una prueba de evaluación objetiva del seguimiento ocular durante la realización de una actividad. Utiliza un dispositivo con sensores para registrar y analizar la eficacia de la precisión de las fijaciones y los movimientos oculares durante la lectura.

- **Videoculografía:** Se trata de un dispositivo que se lleva incorporado en una montura con un sistema de cámaras de vídeo infrarrojas de alta velocidad y resolución, capaces de capturar los movimientos oculares con detalle, velocidad, amplitud y precisión que se realizan a la hora de presentar estímulos al paciente.
 - Eye tracker: Es un dispositivo de videoculografía que utiliza tecnología de seguimiento pupilar infrarrojo de alta velocidad, alta resolución y precisión, para registrar y analizar los movimientos de los ojos. Forma parte de una montura de gafa, que además de las dos cámaras oculares, está provisto de una cámara frontal que, con el algoritmo de procesamiento de las imágenes oculares, permite ver y grabar la fijación exacta del examinado en todo el campo visual que él percibe. En otras palabras, saber con exactitud qué es lo que está viendo y donde está fijando la vista el sujeto permite usarlo para evaluar los movimientos oculares en cualquier condición.

1.4. La visión en la escalada

La visión o sistema visual es un factor muy importante en la escalada, crucial para distinguir los relieves o salientes que tienen los agarres y poder conocer si son útiles para la progresión, en el que estarán interviniendo la AVE y la SC. Las combinaciones de ambas proporcionan rasgos distintivos para poder determinar la ubicación exacta de pies y manos durante la escalada. Una buena AV central junto con una buena visión periférica también serán importantes en este deporte, ya que cuanto mayor sea la resolución del sistema, mejor será la información que se reciba del entorno y, por ende, mejor será la capacidad de detectar detalles útiles para la progresión por la pared.

La precisión y la eficiencia de los movimientos oculares serán un factor clave en la previsualización de la vía. Cuantas menos re-fijaciones, menos regresión, mayor precisión de la sacada y menor número de fijaciones precise el sujeto para la interpretación, más eficiente será el rastreo. Por lo tanto, si los movimientos sacádicos son de calidad, habrá una mayor facilidad para evaluar el terreno.

La diferencia entre un escalador experto de un escalador novel radica en varios aspectos. Por lo general, los escaladores con más experiencia suelen dedicar un tiempo de previsualización de la vía menor, además de que se fijan en áreas concretas del problema, con información más significativa. Durante la previsualización, o “pre-view” en la literatura científica, los escaladores expertos utilizan de forma más eficiente el tiempo que invierten para sincronizar lo visualizado con técnicas, movimientos y posibles puntos de agarre. Además, aprovechan mejor su pre-view enfocándose en las áreas significativas durante más tiempo que los principiantes (13). Se ha observado que los escaladores experimentados tienden a realizar

menos fijaciones, pero de mayor duración, indicando un procesamiento visual más eficiente y de mejor calidad para evaluar la ruta de manera efectiva. Por el contrario, los escaladores principiantes suelen realizar una mayor cantidad de fijaciones, pero de menor tiempo, reflejando una menor eficiencia en el procesamiento de información visual (14).

Marcen-Cinca y colaboradores realizaron un estudio para examinar el sistema visual en escaladores y concluyeron que no existía una diferencia significativa entre los grupos de escaladores noveles respecto a expertos en las pruebas de AV y SC. Sin embargo, el grupo élite obtuvo mejores resultados en las pruebas de percepción visual de campo visual (15)

Además, se realizó otro estudio de la mano de Sánchez y colaboradores para ver la eficacia de la inspección visual previa en vías de distintos grados con grupos de diferentes niveles de escaladores. Se concluyó que la vista previa no influía en si iban a terminar la vía o no. Por el contrario, se observó que ayudaba a la mejora del rendimiento en la subida de la vía, ya que los escaladores expertos realizaban menos paradas y de menor tiempo durante el ascenso si estos, habían realizado una previsualización. Es por eso por lo que la inspección visual antes de subir la vía puede representar un elemento esencial en el rendimiento del escalador. (16)

2. Justificación del tema

La escalada es un deporte complejo que implica una integración de técnicas, movimientos y una correcta relación perceptual con el entorno. El uso de dispositivos de evaluación de movimientos oculares, como el “eye tracker”, en escaladores nos permite conocer cómo es su patrón de rastreo visual, registrar los sacádicos y las fijaciones, así como las zonas de interés, para evaluar la ruta y planificar su escalada.

Gracias a este conocimiento podríamos, como optometristas, diseñar entrenamientos orientados a estas habilidades oculomotoras y diseñar estrategias de análisis visual que ayuden a los escaladores noveles a entrenar y desarrollar las habilidades concretas. Pudiendo optimizar su entrenamiento y progresión en la escalada.

3. Hipótesis

Los movimientos sacádicos de escaladores expertos son diferentes respecto a escaladores de nivel intermedio durante la previsualización de una vía de escalada.

4. Objetivos

- I. Evaluar los movimientos sacádicos en la previsualización de la vía mediante dispositivo eye tracker.
- II. Evaluar las diferencias en la ejecución de los movimientos sacádicos entre escaladores de nivel experto y de nivel intermedio.

5. Metodología

5.1. Diseño del estudio

Este trabajo sigue un diseño de investigación definido como un estudio analítico longitudinal de corte transversal. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Comunidad de Aragón (CEICA) código de proyecto PI23-175 (Anexo 2). Para realizar las mediciones, se estableció un acuerdo de colaboración con el establecimiento Bulderland Centro de Escalada, de Zaragoza, ubicado en Av. De Navarra, 22, 50010, Zaragoza, España, un local especializado en la práctica y entrenamiento de la escalada modalidad Bulder.

5.2. Selección de la muestra

Antes de rellenar cualquier formulario habrá que entablar una conversación con el participante a modo de entrevista, donde se les pone en conocimiento la naturaleza del estudio y también sobre la manipulación de sus datos. Además, nos sirvió para saber si estaban dentro de los criterios de inclusión o no.

Se seleccionaron a escaladores de cualquier nivel mayores de 18 años o menores de edad con el consentimiento y autorización de sus padres. Todos los participantes se apuntaron voluntariamente, informados de en qué consistía el estudio como se ha explicado en los siguientes apartados. La captación de sujetos se realizó mediante un programa de captación en persona para llamar la atención de los integrantes del gimnasio, además de la ayuda por parte del propio centro por la difusión publicitaria en sus redes sociales.

Al finalizar la toma de medidas de toda la muestra del estudio, los participantes fueron agrupados en dos grandes grupos según su grado asentado definido por la escala francesa, determinando así el nivel de grado IRCRA. Estos grupos se dividieron en grupo intermedio, que recogía participantes desde el grado más básico hasta el grado 6b+, para mujeres y hasta 7a, para los hombres. Por otro lado, el grupo avanzado que recogía participantes desde el grado 6c en adelante para las mujeres y para los hombres desde 7a+.

5.2.1. Consentimiento informado, criterios de inclusión y exclusión

Tras la captación de los participantes se les presentaba el consentimiento escrito (Anexo 3); Todos ellos aceptaban estas condiciones firmando el consentimiento. Para que los sujetos pudieran ser participantes tenían que superar los siguientes criterios de inclusión y eludir los criterios exclusivos.

Criterios de inclusión:

- Escalar en modalidad bulder o roca bloque

- Llevar un año como mínimo escalando en estas modalidades

Criterios de exclusión:

- Cualquier porte de cristales en las gafas que dificulte la medida con el “eye tracker”.
- Anomalía en el sistema fisio anatómico que dificulte la toma de medidas.

5.2.2. Entrevista

Cuestionario: Antes de iniciar la evaluación, el participante tuvo que responder preguntas de carácter demográfico (Nombre, género, edad, peso, altura, nacionalidad, teléfono móvil, email), además de si lleva compensación óptica durante la práctica de la escalada. La primera parte recogía información sobre cuántos años lleva practicando el deporte y el nivel de escalada del participante en modalidad roca y en bulder. En la segunda parte se preguntaba sobre ítems de si había participado en competiciones, que tipo de competiciones y con qué frecuencia y cuánto tiempo lleva practicando esta modalidad de deporte, etc. (Anexo 4)

5.2.3. Examen optométrico

Pruebas visuales: Se evalúan las funciones visuales, con la corrección que usa el participante para escalar en caso de llevar compensación óptica, mediante la aplicación Optotab (Smarthings4vision, Zaragoza, España). Este software permite realizar diferentes pruebas solo con una pantalla a la altura de los ojos y unas gafas polarizadas, con una calibración previa de la distancia a la que se va a poner el participante. El software también se instaló en una Tablet para poder gestionar las diferentes pruebas a evaluar. Debido al espacio reducido de las instalaciones, el sujeto se sentaba a una distancia de 1.50 metros y se realizaban las siguientes pruebas:



Imagen 1: Examinador evalúa las reservas vergenciales del participante.

1. *Determinación de la AV:* Al participante se le mostró en la pantalla diferentes optotipos de Snellen de máximo contraste y este tenía que avisar del optotipo mínimo que podía distinguir monocularmente y después, binocularmente. Después, la prueba se volvió a repetir binocularmente, pero la presentación del contraste del optotipo se redujo hasta

el 30%. Seguidamente, los optotipos se pusieron a contraste completo, para esta vez medir la AV periférica, donde la fijación estaba en diferentes estímulos fuera de la pantalla donde se le mostraban los optotipos. El sistema de anotación seleccionado para estas pruebas fue Log MAR.

Una vez completadas estas pruebas, el participante tuvo que ponerse unas gafas polarizadas para poder evaluar:

2. *AVE*: Se trata de una prueba con imágenes polarizadas, son figuras formadas por grupos de cuatro estímulos en los que solo uno presenta estereopsis y el resto no. El participante tuvo que identificar cuál fue el estímulo aleatorio diferente de los otros 3, presentando sensación de relieve. Cada vez que acierte, la figura variaba de posición y la estereopsis de esta disminuía. Se anotó el resultado en segundos de arco (seg arc) cuando el participante no distinguió cuál es el estímulo distinto.

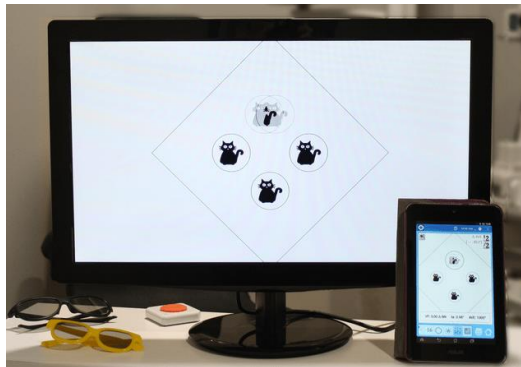


Imagen 2: Test de estereopsis en la aplicación OptoTab. Fuente: <https://smarthings4vision.com/estereopsis/>

3. *Forias*: Se presentó una línea enumerada y una flecha verde, visible solamente si lleva las gafas polarizadas puestas. El participante tuvo que indicar donde se situaba la flecha en torno a la línea horizontal, para las forias horizontales. Se repitió el mismo proceso con la línea en vertical, para las forias verticales. Si los ejes no prestaban ninguna desviación y estos estaban paralelos se habla de ortoforia. En el caso de que estuviera presente una desviación se mediría en Dioptrías Prismáticas (Δ) y la dirección de esta, endo o exoforia para las horizontales y hipo o hiper para las verticales.



Imagen 3: Test para las forias horizontales en la aplicación OptoTab. Fuente: <https://smarthings4vision.com/medida-de-desviaciones/>

4. *Reservas fusiónales*: Se mostraron vectogramas numéricos que se iban separando, y el participante con sus gafas polarizadas, debía mantener la imagen nítida y única. Se iba introduciendo potencia prismática base nasal, para las reservas fusiónales horizontales negativas y base temporal para las reservas fusiónales horizontales positivas en pasos de 1 Dioptrías prismáticas (Δ), hasta que el participante refería ver doble o la imagen se mueva. En este momento se apuntaba el momento de borrosidad (si había), el momento de ruptura y recobro.

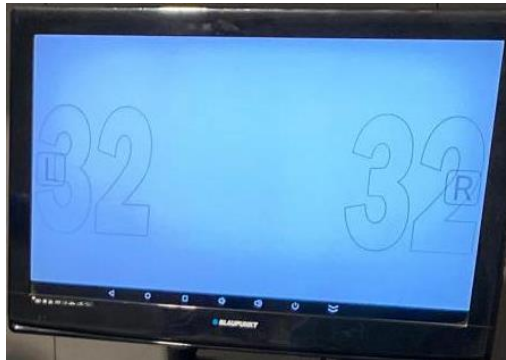


Imagen 4: Test para las reservas fusiónales en la aplicación OptoTab.

5.2.4. Evaluación de los movimientos oculares mediante eye tracker

Previsualización: A cada participante se le colocó el eye tacker Neon (Pupil Labs GHMB, Berlín, Alemania) y se le explicó su funcionamiento.

Este aparato consiste en un módulo que contiene todas las cámaras y sensores compactadas. Dispone de una cámara frontal de escena que proporciona videos de 30 Hz con un campo de visión de $132 \times 81^\circ$ y una resolución de 1600×1200 píxeles. Además, tiene dos cámaras infrarrojas que capturan en video los movimientos oculares a 200 Hz con una resolución de 192×192 píxeles, para mostrar donde está mirando exactamente el participante. También tiene una unidad de medición inercial que reporta valores de aceleración, magnetómetro y giroscopio a 110 Hz. Todo este módulo está recubierto de silicona biocompatible, que se puede adaptar en diferentes monturas para diferentes casos. En este caso, el módulo está adaptado para una cinta con velcro que rodea toda la cabeza (17).

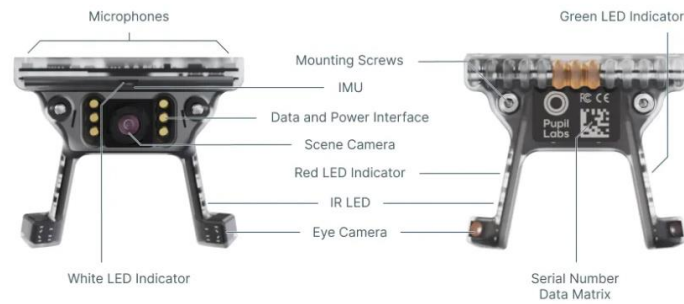


Imagen 5: Dispositivo eye tracker Neon de Pupil Labs sin montura. Fuente: <https://docs.pupil-labs.com/neon/hardware/module-technical-overview/>

Se le colocó el dispositivo apoyándolo en el puente de la nariz para poder captar correctamente los movimientos pupilares y así medir y registrar los movimientos oculares, además de las fijaciones del sujeto para visualizar la vía, que previamente hemos preparado para este estudio en la pared y aplicación móvil “Kilter Board”. Esta aplicación está sincronizada con una pared abatible de iluminación selectiva de presas, que se conecta a una base de datos mundial de problemas de escalada bulder, Permite poner cualquier vía creada por cualquier persona mediante la iluminación de estas presas luminosas, además de desplomar la pared los grados que se consideren. Esto nos permitió que, gracias a la colaboración de un experto escalador, con un gran nivel y trabajador del establecimiento, nos crease vías de diferentes niveles para el estudio con un desplome de 45° para todos estos niveles. Los niveles de dificultad se organizaron de la siguiente manera: V1 correspondía a la más sencilla, mientras que V3, V4, V5 y V7 representaban niveles de dificultad progresivamente mayores, donde el inicio de todas ellas era en las presas de color verde y el final, las presas de color morado, además, las presas de color naranja eran para apoyar los pies y las azules, para las manos. (Anexo 5)

El eye tracker estaba conectado por cable a un dispositivo móvil, el cual registraba todos los datos obtenidos por el eye tracker y los almacenaba en el software de Pupil Labs. Al participante se le colocó a una distancia de 4 metros de la vía para que se pueda ver toda la vía desde su posición de mirada y se le indicó cuando podía mirar la pared para empezar a grabar e iniciar la cuenta atrás de 2 minutos máximo. La vía es seleccionada según su nivel de escalada, pero el escalador no era consciente de este dato. El examinador tenía que estar pendiente de que dispositivo captara los movimientos oculares, además de la vía en su totalidad, recolocando la posición de cabeza y cuerpo del participante. También, había que vigilar que este no se moviera del sitio que se le asignaba, durante el tiempo de la grabación.



Imagen 6. Examinador evaluando los movimientos oculares de un participante tomados por el dispositivo eye tracker.

Una vez terminada la previsualización de la ruta, los datos que registra el sistema, incluido el video, son guardados para su posterior análisis.

5.2.5. Planificación, escalada y replanificación de la escalada

Al escalador se le proporcionó el mapa de la vía que acababa de visualizar donde tenía que indicar la posición de pies y manos, junto con sus respectivos movimientos planteados para conseguir completar la vía. El participante podía hacer todos los comentarios que quisiera para que se entendiera mejor su estrategia de subida.



Imagen X: Participante explicando su planificación de subida en un mapa de su respectiva vía.

Una vez realizadas las pruebas y cumplimentado los cuestionarios llega el momento de calentar. Donde el individuo podía elegir qué tipo de calentamiento debía llevar para poder terminar la vía en un solo intento, durante el tiempo que considerase y sin volver a ver la vía que tiene que completar.

Terminado el calentamiento, se le volvió a presentar la vía seleccionada para que la escalase. El sujeto debía resolverla en el primer intento simulando la modalidad a vista, si lo conseguía se apuntaba el tiempo que le ha costado subir una vez haya dejado de tocar el suelo con los

dos pies y la palabra “flash”, como palabra distintiva en el mundo de la escalada para determinar la subida de un bloque en el primer pegue. Por el contrario, si no conseguía completarla, se le dejaba los intentos que él desease sin registro de tiempo.

Como ultima demanda, después de haber finalizado la vía o de haberse cansado de intentarla y no completarla, en un nuevo mapa de su respectiva vía, de manera similar a la parte anterior, tenía que dibujar los movimientos y posiciones que ha cambiado con relación a lo que creía que iba a hacer en primera instancia.

5.3. Recopilación de datos

Una vez terminadas las pruebas y formularios que incluyen las medidas sobre la evaluación visual, los cuestionarios pre y post visualización de la vía, el tiempo de subida, se registraron todos los datos como las variables de estudio en una base de datos Excel (Microsoft Office Excel 2016, Microsoft Corporation), mientras que los datos sobre los movimientos oculares provenientes del procesamiento de los videos por el software de Pupil Labs se exportaron a un archivo .csv (Comma Separated Values).

Cada grabación del eye-tracker genera dos archivos .csv, uno relacionado con las fijaciones y otro con los sacádicos. En la configuración previa, se estableció que cualquier periodo de movimiento que no superase los 90 milisegundos se consideraría un microsacádico de una fijación, mientras que cualquier otro periodo se clasificaría como sacádico. Cada archivo .csv fue transcrito a formato .xlsx donde se reunía información específica sobre los pasos realizados en la visualización. El archivo de fijaciones proporcionaba información sobre cada movimiento y fijación que se realizaron en el video, la duración de cada fijación en milisegundos [ms], sus coordenadas x e y, en píxeles [px]. El archivo de sacádicos proporcionaba la cantidad de estos, su duración [ms], su amplitud en px y en grados (°), su velocidad media, en píxeles por segundo [px/s] y su velocidad máxima y mínima [px/s].

Los archivos correspondientes a cada participante fueron evaluados y se calculó y reunió, para cada participante, los valores medios, máximos y mínimos de cada variable: tiempo de fijación [ms], la velocidad de la sacada [px/s], la velocidad máxima [px/s], la amplitud media [°], la amplitud máxima [°] y la amplitud mínima [°]. Estos datos fueron transcritos a la base de datos.

5.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó el software SPSS. Las variables cuantitativas se representaron mediante la media y su desviación estándar, mientras que las variables cualitativas se representaron mediante frecuencias y porcentajes.

La distribución de normalidad de las variables se evaluó mediante el test de Kolmogórov-Smirnov, donde se pudo ver que no seguían una distribución normal. En consecuencia, se decidió utilizar pruebas no paramétricas considerándose significativo un p-valor $< 0,05$. Para variables cualitativas se utilizó el test Chi Cuadrado y para variables cuantitativas se utilizaron los estadísticos: el test U de Mann-Whitney para muestras independientes, el test de Wilcoxon para muestras pareadas y en análisis de correlaciones con el test Rho de Spearman clasificándolas como: correlación débil ($0 < r < 0.3$), correlación moderada ($0.3 < r < 0.6$), correlación fuerte ($r > 0.6$) y correlación inversa ($r < 0$).

6. Resultados

6.1. Análisis descriptivo de toda la muestra de estudio.

Se evaluaron a 45 participantes sanos de los cuales, 26 eran mujeres y 19 hombres con una edad media de 29.82 ± 9.27 años. Entre los 45 sujetos hubo 31 de ellos que no llevaban compensación óptica porque no lo necesitaban, mientras que 5 de ellos llevaban gafas y los 9 restantes, lentes de contacto. La AV binocular central media que se alcanzó fue de 0.03 ± 0.16 Log MAR, la AVE media de 90.93 ± 81.10 segundos de arco, y la media de la foria horizontal fue $0.27 \pm 1.81\Delta$, por el contrario, la de la foria vertical fue de $-0.04 \pm 0.30 \Delta$. Además, las vergencias fusiónales positivas tenían un valor medio de $25.29 \pm 10.24 \Delta$ y las vergencias fusiónales negativas de $6.91 \pm 2.68 \Delta$. Todos los resultados se hallaban dentro de los valores normales.

Los 45 sujetos tenían una experiencia media en la escalada de 5.59 ± 7.17 años. Además, las diferentes vías a escalar se repartieron de la siguiente manera: 2 sujetos realizaron la vía V1, 18 escalaron la V3, 12 de ellos la V4, 6 la V5 y, por último, 7 participantes escalaron la vía V7.

6.2. Análisis descriptivo según grupos.

La muestra dividida según el nivel IRCRA.

El grupo avanzado estaba compuesto por 32 miembros, de los cuales, 25 eran mujeres y 7 eran hombres con una experiencia en la escalada media de 6.92 ± 8.01 años. Las vías escaladas por este grupo se registraron de esta manera: 7 sujetos escalaron la vía V3, 12 sujetos la vía V4, 6 sujetos la vía V5 y la V7 fue escalada por 7 sujetos.

El grupo intermedio está compuesto por 13 sujetos de los cuales 1 era mujer y los 12 restantes, hombres. Solamente 2 de este grupo escalaron la vía V1 y 11 de ellos la vía V3.

En la tabla 1 se muestran los resultados medios recogidos para las variables de estudio de cada grupo según clasificación IRCRA para los parámetros de experiencia en la escalada, su edad y las diferentes pruebas visuales. Donde no se observa ninguna diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo, cabe destacar que los años de experiencia para el grupo avanzado son mayores que los del grupo intermedio.

	GRUPO AVANZADO	GRUPO INTERMEDIO	P-valor
Experiencia (años)	6.92 ± 8.01	2.11 ± 1.74	0.163
Edad (años)	30.34 ± 10.05	28.54 ± 7.21	0.910
AV binocular central (Log MAR)	0.04 ± 0.18	-0.00 ± 0.02	0.119
AVE (seg. arc)	88.84 ± 79.78	95.92 ± 87.27	0.587
Foria horizontal (Δ)	0.09 ± 3.57	0.00 ± 0.00	0.116
Foria vertical (Δ)	-0.06 ± 0.35	0.00 ± 0.00	0.117
Vergencia fusional positiva (Δ)	23.94 ± 11.21	28.62 ± 6.55	0.693
Vergencia fusional negativa (Δ)	6.94 ± 2.85	6.85 ± 2.30	0.407

Tabla 1. Media y desviación estándar de los resultados para las variables del grupo avanzado e intermedio y su p-valor sobre los parámetros de experiencia en la escalada, la edad del participante y los resultados a las pruebas visuales. AV: Agudeza Visual, AVE: Agudeza Estereoscópica, seg. arc: segundos de arco, Δ: potencia prismática.

6.3. Análisis de los resultados de los movimientos oculares según grupos.

En la tabla 2 se muestran los resultados medios recogidos para las variables de estudio de cada grupo según la clasificación IRCRA para los resultados obtenidos en las grabaciones del eye tracker. Donde no se observaron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, notar que el tiempo medio utilizado para visualizar la vía en el grupo avanzado es menor al grupo intermedio. Por otro lado, destaca la similitud de valores que presenta la velocidad y la amplitud de los sacádicos para cada grupo.

	GRUPO AVANZADO	GRUPO INTERMEDIO	P-valor
T del video (s)	51.03 ± 33.29	80.77 ± 38.17	0.728
N.º fijaciones	136.07 ± 88.24	171.17 ± 92.54	0.791
T de fijación medio (ms)	340.89 ± 80.71	385.64 ± 67.90	0.194
N.º movimientos	118.06 ± 94.19	157.00 ± 100.51	0.980
Velocidad media de sacada (px/s)	3221.88 ± 339.82	3251.87 ± 296.08	0.392
Velocidad máxima media de sacada (px/s)	4802.45 ± 736.27	4883.56 ± 562.90	0.365
Amplitud media de sacada (º)	8.83 ± 1.75	8.83 ± 1.27	0.302
Amplitud máxima media de sacada (º)	41.53 ± 8.38	33.64 ± 14.78	0.768
Amplitud mínima media de sacada (º)	0.99 ± 0.77	0.87 ± 0.67	0.575

Tabla 1. Media y desviación estándar de los resultados para las variables del grupo avanzado e intermedio y su p-valor sobre los parámetros de los movimientos oculares. Px/s: pixeles por segundo, ms: milisegundos, s: segundos, T: tiempo, º: grados.

6.4. Análisis de las correlaciones entre las variables de estudio.

Se estudiaron las posibles correlaciones existentes entre las variables no paramétricas del estudio y se observó que:

- Cuantos más años se lleve practicando la escalada el nivel del grado de IRCRA es mayor y la correlación entre ellos es alta ($r = 0.636$; $p < 0.001$), además de que la amplitud máxima media aumentaba ($r = 0.362$; $p < 0.001$), junto con la velocidad máxima media ($r = 0.304$; $p < 0.001$).
- Cuanto mayor sea el nivel IRCRA, el tiempo requerido para visualizar la vía era menor ($r = -0.368$; $p < 0.001$), al igual el número de movimientos de los ojos realizados ($r = -0.352$; $p < 0.001$).
- Cuanto mayor fue el tiempo de duración de la previsualización, la velocidad media de los sacádicos disminuyó ($r = -0.380$; $p < 0.001$). El número de fijaciones aumentaba y el número de movimientos también ($r = 0.782$ y $r = 0.699$; $p < 0.001$).
- Cuanto mayor era la velocidad media de los sacádicos, la amplitud media de la sacada era mayor ($r = 0.730$; $p < 0.001$). Además, cuanto mayor sea la velocidad máxima media, la amplitud media también era mayor ($r = 0.509$; $p < 0.001$).

7. Discusión

7.1. Comentarios sobre el diseño del estudio y selección de la muestra

El objetivo del trabajo fue estudiar los movimientos oculares sacádicos en la escalada, es por eso que se eligió el modelo de estudio longitudinal de corte transversal porque era el más sencillo para obtener una muestra significativa lo más rápido posible durante el tiempo de la toma de medidas y así, determinar cuándo empezar a analizarla.

El haber hecho el estudio en un gimnasio bulder y las facilidades que se tuvieron para captar escaladores de este tipo de modalidad, derivó en que la cantidad de la muestra que escalaba solamente bulder era mucho mayor a la que escalaba combinando Bulder con otro tipo de modalidades, como roca o bloque. Esto puede influir en los resultados obtenidos, donde no se tuvo en cuenta al evaluarlos, dado que el continuo entrenamiento en el mismo medio puede aumentar el factor de confianza a la hora de enfrentarse a él, es decir, visualizar una vía con presas artificiales y, entenderla, con mayor facilidad que las presas naturales.

Este estudio cuenta con una muestra compuesta por 19 hombres y 26 mujeres, con un predominio cuantitativo de estas últimas participantes. Aunque la muestra de este estudio es considerable, otros informes presentan muestras más grandes, pero con una participación femenina inferior, e incluso, en algunos casos, excluyéndolas del estudio (18,19). Por otro lado, otros estudios utilizan muestras pequeñas, pero con un nivel de escalada más específico y dedicado solamente a bulder (13). Además de edades más acotadas, cuando en nuestro estudio no hay límite de edad (20).

Se definió que, al menos, los escaladores tuvieran un año como mínimo de experiencia escalando en Bulder para asegurarnos que conocían la modalidad de escalada a la que se iban a enfrentar y sus conceptos básicos.

El porte de cristales sin antirreflejante en las gafas perjudicaba la toma de medidas con el eye tracker. De hecho, un participante no pudo participar por no poder realizar el protocolo completo en la medida de los valores de motilidad ocular debido a los reflejos que los cristales producían y la incapacidad del dispositivo para encontrar la pupila.

Un inconveniente que no se pudo tener en cuenta antes del comienzo del estudio ya que se detectó durante el mismo es que, el grupo avanzado estaba más acostumbrado que el intermedio a utilizar la pared Kilter Board. Además, esta pared tiene una inclinación respecto al suelo de 45° por lo que aquellos que tuvieran más fuerza, como son los miembros de los grupos avanzado o experto, presentan ventaja física frente al grupo intermedio. Ya que cuanto

mayor es el nivel IRCRA, más fuerza presenta el sujeto y es por eso por lo que los grados IRCRA tienen diferencias según el sexo (21).

7.2. Comentarios sobre la metodología

Se utilizó el dispositivo OptoTab por sus ventajas en cuanto al desplazamiento de material fuera de la universidad. Se debería tener en cuenta que el optotipo estaba calibrado para 1.50 metros, pero esta distancia puede inducir acomodación y, en según qué participantes puede ocasionar falsos resultados en la toma de reservas fusionales, sobre todo las negativas. Estudios similares sobre la evaluación motora ocular con eye tracker en la escalada, no tienen en cuenta la toma de medidas sobre sus capacidades visuales, como puede ser su AV, estereopsis o reservas fusionales (22).

La utilización de exámenes para evaluar la oculomotricidad, validados científicamente, en un estudio dinámico como es nuestro caso, no hubiera sido muy fácil de registrar los datos objetivos que se necesitaban. Se utilizó un dispositivo eye tracker porque tiene la ventaja de que proporciona una evaluación de los movimientos oculares en un entorno dinámico, como es la escalada. Los exámenes validados científicamente como el NSUCO se realizan en un entorno clínico controlado proporcionando datos subjetivos, mientras que el DEM y King-Devick son test destinados a la lectura. Aunque estén dirigidos a la evaluación de los sacádicos, existen autores como Tanke N. y colaboradores que sugieren que estos últimos dependen mucho más de la duración de las fijaciones que de los sacádicos (23). Por otro lado, visagraph sí aporta valores precisos y objetivos de los movimientos oculares, pero solamente se ha utilizado hasta la fecha en la lectura y su realización en las instalaciones del Bulderland habría sido complicado.

El eye tracker, de Pupil Labs y otros fabricantes, de porte a modo de montura de gafa pueden evaluar los movimientos oculares en cualquier entorno, ofreciendo datos objetivos. Este aparato puede llegar a implementarse como complemento para aquellos test que estén validados científicamente en el entorno clínico, como el NSUCO (24).

No se pudo medir con exactitud los parámetros sacádicos debido a varios factores que afectaron a la estabilidad y consistencia de las medidas. Muchos participantes no permanecieron en la posición inicial designada, adelantándose o moviéndose de su lugar. No se consideró la altura a la que se realizaron las medidas con respecto a la Kilter Board. Por último, la cabeza de los participantes estaba en constante movimiento mientras simulaban mentalmente las posiciones que iban a adaptar en la subida. Todos estos factores combinados introdujeron variabilidad y alteración en la precisión de la toma de medidas sacádicas.

7.3. Comentarios sobre los resultados

Se observa que los resultados para las pruebas visuales de la muestra total están dentro de los rangos de normalidad. Notar que se detectó un sujeto con una foria, en este caso horizontal de 12 Δ y vertical de - 2 Δ pero no acompañadas de sintomatología. Se observó que este candidato, pese a estos valores, presentaba un elevado grado de escalada en la escala IRCRA y la práctica de la actividad se realizaba sin problemas. Los resultados de las pruebas visuales muestran resultados similares, no tienen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, eso quiere decir que tanto el grupo avanzado como el grupo intermedio tienen las mismas capacidades visuales.

Hay que tener en cuenta que los grupos de nivel IRCRA podrían estar sesgados por sexo ya que en el grupo avanzado hay muchas más mujeres que hombres y el grupo intermedio son prácticamente todos hombres. Sin embargo, no hay evidencia como para atribuir distinciones significativas de las habilidades visuales entre géneros y la clasificación IRCRA ya contempla las diferencias físicas entre hombres y mujeres otorgando el grado según género y habilidad en la escalada.

Según los resultados, había una diferencia entre las variables de estudio en las pruebas de los movimientos oculares según grupos divididos por el nivel IRCRA, pero esta diferencia no era suficiente como para que fuera estadísticamente significativa. Esto puede ser debido a que realmente la diferencia no fuera tan grande como pensábamos o porque el tamaño de la muestra no fue lo suficientemente grande.

Al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas, se podría llegar a interpretar que los factores que se diferencian entre estos dos grupos son aspectos meramente técnicos y físicos, pero nada visuales. Es por eso por lo que se realizó un estudio de las posibles correlaciones entre las diferentes variables oculomotoras. Donde se puede ver que al tener un mayor grado IRCRA, de manera directamente proporcional se relaciona con la experiencia, afecta positivamente en la previsualización de la vía, como era de esperar con una mayor velocidad de análisis reflejado en un menor tiempo de video, menor número de sacadas y fijaciones, pero no en una mayor velocidad media de sacádico, ya que la motilidad ocular es igual para los dos grupos.

A la hora de evaluar la vía se observó que la amplitud y la velocidad medias sacádicas eran muy similares entre los dos grupos. Esto quiere decir que independientemente del nivel IRCRA o años de experiencia de la muestra sana, los movimientos sacádicos son prácticamente igual de eficientes para todos los sujetos. Aunque se obtuvo una correlación débilmente moderada para la velocidad máxima media y la amplitud máxima cuantos más años de experiencia tenía el participante. Si nuestra muestra hubiera sido separada según los años de experiencia, tal

vez se podría haber visto que los escaladores más experimentados realizan escaneos superficiales, de poca duración, con amplitudes y velocidades mayores, frente a un grupo de menor experiencia donde se verían escaneos prolongados, velocidades y amplitudes menores y con un mayor número de fijaciones (19). En nuestro estudio la principal diferencia radica en el número de los sacádicos y el de las fijaciones eficientes entre los grupos IRCRA, donde no se logra ver una diferencia tan grande entre sus velocidades y amplitudes.

Otra variable que se quiso recoger, pero se tuvo en cuenta tarde y se empezó a tomar a mitad del estudio fue la de registrar el encadenamiento de la vía en los participantes. Es por eso por lo que no se mostró en resultados, pero es una variable a tener en cuenta para próximos estudios. Es un parámetro que se podría haber utilizado para visualizar las tendencias de los diferentes grupos IRCRA, donde probablemente se podría haber visto diferencias. En este estudio, se pudo ver que a los pocos que conseguimos registrar este dato y, además, utilizaban un menor tiempo que la media de la muestra para previsualizar la vía tendían a encadenarla. Estos sujetos eran los participantes con mayor experiencia independiente del grado IRCRA.

8. Conclusiones

Primera conclusión.

El dispositivo eye tracker Neon de Pupil Labs nos permite examinar los movimientos oculomotores sacádicos durante la previsualización de una vía de escalada de una manera objetiva y replicable.

Segunda conclusión.

Los resultados obtenidos mediante el dispositivo eye tracker Neon de Pupil Labs sobre los movimientos oculares no muestran ningún parámetro estadísticamente significativo entre los dos grupos de estudio. Sí muestran que cuantos más años de experiencia en la escalada, y, por tanto, mayor grado, el tiempo requerido para visualizar la vía es menor, así como el número de movimientos sacádicos que precisa realizar. La velocidad y amplitud máxima de los movimientos oculares también guardan una relación directa con la experiencia medida como grado del escalador o años de práctica.

9. Bibliografía

1. Escalada: definición, historia y reseñas | Panorámicas360 [Internet]. Disponible en: <https://www.panoramicas360.net/categoria/montana/escalada/>

2. Detalles del MCT | ircra [Internet]. Disponible en: <https://www.ircra.rocks/mct>
3. ▷ Grados de Escalada y Equivalencias Entre Países [Internet]. Disponible en: <https://qulusuq.com/grados-de-escalada/>
4. TIPOS de ESCALADA: Diferencias, Estilos, Técnicas y Materiales [Internet]. Disponible en: https://www.pasoclave.com/tipos-escalada-diferencias-estilos-materiales/#TIPOS_DE_ESCALADA_SEGUN_SU_METODOLOGIA
5. ¿Qué tipos de escalada existen? | Salewa® España | Salewa® España [Internet]. Disponible en: <https://www.salewa.com/es-es/expertise/tipos-de-escalada>
6. Martín Herranz R. Manual de Optometría [recurso electrónico]. 2ª ed Vecilla Antolínez G, editor Editorial Médica Panamericana, 2018.
7. Martinez-Conde S, Macknik SL, Troncoso XG, Hubel DH. Microsaccades: a neurophysiological analysis. Trends Neurosci. 1 de Septiembre de 2009;32(9):463-75.
8. Ramat S, Leigh RJ, Zee DS, Optican LM. What clinical disorders tell us about the neural control of saccadic eye movements. Brain. 1 de Enero de 2007;130(1):10-35.
9. Rodríguez-Labrada R, Velázquez-Pérez L. Alteraciones de los movimientos oculares en las enfermedades poliglutamínicas. Rev Mex Neuroci. 2013;14(3):150-8.
10. McDowell JE, Dyckman KA, Austin BP, Clementz BA. Neurophysiology and Neuroanatomy of Reflexive and Volitional Saccades: Evidence from Studies of Humans. Brain Cogn. Diciembre de 2008;68(3):255.
11. Tian J, Ying HS, Zee DS. Revisiting corrective saccades: Role of visual feedback. 2013.
12. Idrees S, Baumann MP, Franke F, Münch TA, Hafed ZM. Perceptual saccadic suppression starts in the retina. Nat Commun. 1 de Diciembre de 2020; 11(1).
13. Seifert L, Cordier R, Orth D, Courtine Y, Croft JL. Role of route previewing strategies on climbing fluency and exploratory movements. PLoS One. 1 de Abril de 2017;12(4).
14. Mitchell J, Maratos FA, Giles D, Taylor N, Butterworth A, Sheffield D. The Visual Search Strategies Underpinning Effective Observational Analysis in the Coaching of Climbing Movement. Front Psychol. 28 de Mayo de 2020.
15. Marcen-Cinca N, Sanchez X, Otin S, Cimarras-Otal C, Bataller-Cervero AV. Visual Perception in Expert Athletes: The Case of Rock Climbers. Front Psychol. 14 de Julio de 2022;13.
16. Sanchez X, Lambert P, Jones G, Llewellyn DJ. Efficacy of pre-ascent climbing route visual inspection in indoor sport climbing. Scand J Med Sci Sports. 1 de Febrero de 2012;22(1):67-72.
17. Neón - Tecnología - Rastreador ocular impulsado por aprendizaje profundo [Internet]. Disponible en: <https://pupil-labs.com/products/neon/technology>

18. Medernach JP, Memmert D. Effects of decision-making on indoor bouldering performances: A multi-experimental study approach. *PLoS One*. 1 de Mayo de 2021; 16(5).
19. Medernach JP, Sanchez X, Henz J, Memmert D. Cognitive-behavioural processes during route previewing in bouldering. *Psychol Sport Exerc*.
20. Vasile AI, Stănescu M, Pelin F, Bejan R. Cognitive factors that predict on-sight and red-point performance in sport climbing at youth level. *Front Psychol*. 30 de Noviembre de 2022;13.
21. Devise M, Pasek L, Goislard De Monsabert B, Vigouroux L. Finger flexion to extension ratio in healthy climbers: a proposal for evaluation and rebalance. *Front Sports Act Living*. 2023;5.
22. Luis-del Campo V, Morenas Martín J, Musculus L, Raab M. Embodied planning in climbing: how pre-planning informs motor execution. *Front Psychol*. 2024; 15.
23. Tanke N, Barsingerhorn AD, Boonstra FN, Goossens J. Visual fixations rather than saccades dominate the developmental eye movement test. *Scientific Reports* 2021 11:1. 13 de Enero de 2021; 11(1):1-13.
24. Bilbao C, Piñero DP. Objective and Subjective Evaluation of Saccadic Eye Movements in Healthy Children and Children with Neurodevelopmental Disorders: A Pilot Study. *Vision* 2021, Vol 5, Page 28. 7 de Junio de 2021;5(2):28.

Anexos

Anexo 1. Tabla de conversión de grados IRCRA

Climbing Group	Vermin	Font	IRCRA		YDS	French/sport	British Tech	Ewbank	BRZ	UIAA	Metric		
			Reporting Scale	Scale							UIAA	Watts	
Lower Grade (Level 1) Male & Female			1	5.1	1			4	I sup	I	1.00		
			2	5.2	2		2	6	II	II	2.00		
			3	5.3	2			8	II sup	III	3.00		
			4	5.4	3-		3	10	III	III+	3.50		
			5	5.5	3			12	IV	IV	4.00		
			6	5.6	3-		4	14	V	V-	4.66	0.00	
			7	5.7	4			16	V sup	V	5.00	0.25	
			8	5.8	4-			18	V sup	V+	5.33	0.50	
		VB	< 2	9	5.9	5		5a	20	VI	VI-	5.66	0.75
				10	5.10a	5-			22	VI	VI	6.00	1.00
Intermediate (Level 2) Female	V0-	3	11	5.10b	6a		5b	19	VI	VI+	6.33	1.25	
	V0	4	12	5.10c	6a+		5c	20	VI sup	VII-	6.66	1.50	
	V0+	4+	13	5.10d	6b			21	7a	VII	7.00	1.75	
	V1	5	14	5.11a	6b+			22	7a	VII+	7.33	2.00	
Advanced (Level 3) Female	V2	5+	15	5.11b	6c		6a	23	7b	VIII-	7.66	2.50	
	V3	6A	16	5.11c	6c+			24	7c	VIII	8.00	2.75	
	V4	6B+	17	5.11d	7a		6b	25	8a	VIII+	8.33	3.00	
	V5	6C	18	5.12a	7a+		6c	26	8a	IX-	8.66	3.25	
Advanced (Level 3) Male	V6	6C+	19	5.12b	7b			27	8b	IX	9.00	3.75	
	V7	7A	20	5.12c	7b+		7a	28	8c	IX+	9.33	4.00	
	V8	7A+	21	5.12d	7c		7b	29	9a	X-	9.66	4.25	
	V9	7B	22	5.12a	7c+		7c	30	9a	X-	9.66	4.25	
Elite (Level 4) Female	V10	7B+	23	5.12b	8a			31	10a	X	10.00	4.50	
	V11	7C	24	5.12c	8a+		7d	32	10b	X	10.00	4.50	
	V12	7C+	25	5.12d	8b			33	10c	X+	10.33	5.00	
	V13	8A	26	5.13a	8b+			34	11a	XI-	10.66	5.25	
Elite (Level 4) Male	V14	8A+	27	5.13b	8c			35	11b	XI	11.00	5.50	
	V15	8B	28	5.13c	8c+		7e	36	11c	XI+	11.33	6.00	
	V16	8B+	29	5.13d	9a			37	12a	XI+	11.33	6.00	
	V17	8C	30	5.14a	9a+			38	12b	XII-	11.66	6.25	
Higher Elite (Level 5) Female	V18	8C+	31	5.14b	8c			39	12c	XII	12.00	6.50	
	V19	8C+	32	5.14c	8c+			40	12c	XII	12.00	6.50	
	V20	8C+	33	5.14d	9a			41	12c	XII	12.00	6.50	
	V21	8C+	34	5.14e	9a+			42	12c	XII	12.00	6.50	

Anexo 2. Certificado aprobado por el Comité de Ética de la Investigación de la Comunidad de Aragón (CEICA)



Informe Dictamen Favorable

C.I. PI23/175
19 de abril de 2023

Dña. María González Hinos, Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

CERTIFICA

1º. Que el CEIC Aragón (CEICA) en su reunión del día 19/04/2023, Acta Nº 08/2023 ha evaluado la propuesta del investigador referida al estudio:

Título: ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA VISO-PERCEPCIÓN EN LA PRÁCTICA DEPORTIVA

Investigadora Principal: Sofía Otín Mallada, Universidad de Zaragoza

Versión protocolo: VERSIÓN 2. 13 de abril de 2023

Versión documento de información y consentimiento: VERSIÓN 2. 13 de abril de 2023

2º. Considera que

- El proyecto se plantea siguiendo los requisitos de la Ley 14/2007 de investigación biomédica y su realización es pertinente.
- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- Es adecuada la utilización de los datos y los documentos elaborados para la obtención del consentimiento.
- El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto a los postulados éticos.
- La capacidad de los Investigadores y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

3º. Por lo que este CEIC emite **DICTAMEN FAVORABLE** a la realización del estudio.

Lo que firmo en Zaragoza
GONZALEZ
HINJOS MARIA -
DNI 03857456B
María González Hinos
Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

Firmado digitalmente por
GONZALEZ HINJOS MARIA -
DNI 03857456B
Fecha: 2023.04.21 13:46:37
+02'00'

Anexo 3. Consentimiento informado

Fecha: _____/2023

Lugar: Zaragoza, Zaragoza

Escalada Investigación/ Medida T-0 (primero en la primera reunión)

Número de identificación del participante: _____ (a ser proporcionado por el investigador)

Formulario de consentimiento informado

Por la presente doy mi consentimiento para ser un participante en la presente investigación. Entiendo que:

- Mi participación es totalmente voluntaria;
- Tengo la opción de retirarme de este estudio en cualquier momento, sin penalización;
- Tengo derecho a omitir cualquier pregunta individual que no desee responder;
- Mis respuestas se mantendrán estrictamente anónimas y confidenciales, y se almacenarán durante al menos 6 meses;
- Puedo participar solo si tengo al menos 18 años de edad.

Datos demográficos básicos:

Nombre:

Género:

Edad:

Altura:

Peso

Nacionalidad:

Número de teléfono móvil:

Firme a continuación si acepta las condiciones de este formulario de consentimiento.

Nombre impreso:

Correo electrónico (si desea mantenerse informado):

Firma:

Número de identificación del participante: _____ (dado por el investigador)

Escalada interior (deporte, vía) Nivel

actual nivel de escalada a vista? _____

actual después de practicar? _____

más alto nivel de ascenso a vista máximo que has alcanzado? _____

más alto nivel de escalada después de la práctica máximo? _____

Outdoor (roca, vía) Escalada Nivel

actual nivel de escalada a vista? _____

actual después de practicar? _____

más alto nivel de ascenso a vista máximo? _____

más alto nivel de escalada después de la práctica máximo? _____

Nivel de escalada de boulder

actual nivel de escalada a vista? _____

actual después de practicar? _____

más alto nivel de ascenso a vista máximo? _____

más alto nivel de escalada después de la práctica máximo? _____

OTROS (Competición / Entrenamiento)

1. Participas en competencias de escalada ?
 - a. Sí, regularmente
 - b. Sí, pero solo de vez en cuando,
 - c. No

2. Con qué frecuencia participa en cada uno de los siguientes tipos de competencias de escalada ? Escriba un número que sea un % de 100 (p. ej., 50 % de las veces *búlder*, 50 % de las veces *líder*, resto de opciones 0 %)
 - a. Bloque: _____
 - b. Escalada rápida: _____
 - c. Escalada en hielo: _____
 - d. Liderazgo (escalada deportiva): _____

3. Tú haces/practicas...
 - a. Principalmente escalada en interiores (p. ej., escalada deportiva):
 - b. Principalmente escalada al aire libre (p. ej., escalada en roca):
 - c. Tanto en interiores como en exteriores:

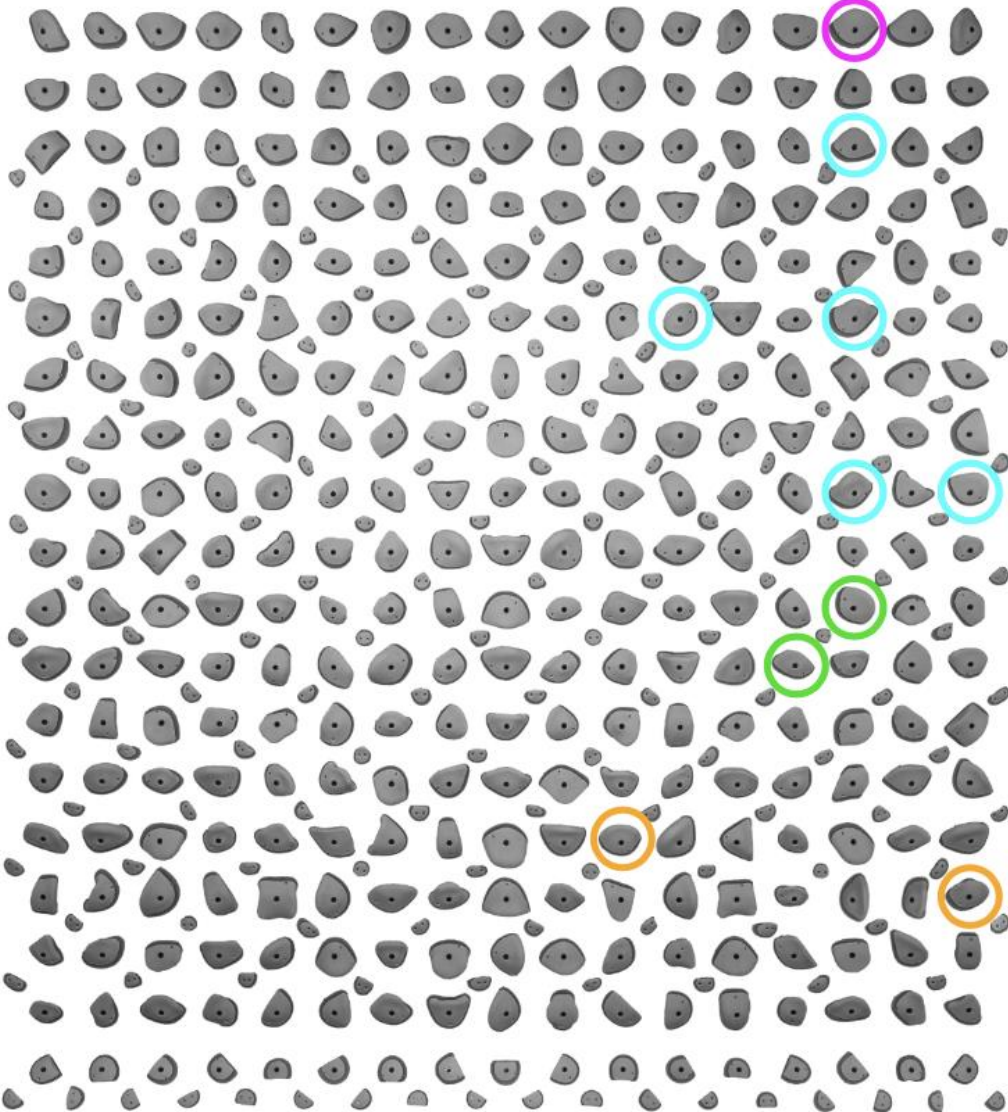
4. ¿Con qué frecuencia entrenas en interiores o al aire libre?
Escriba un número que sea un porcentaje de 100 (p. ej., 60 % de las veces en interiores y 40 % de las veces en exteriores).
 - a. Interior: _____
 - b. Al aire libre: _____

5. Con qué frecuencia entrenas para cada uno de estos tipos de escalada?
Escriba un número que sea un porcentaje de 100 (p. ej., 50 % de las veces *búlder*, 50 % de las veces *líder*, resto de opciones 0 %).
 - a. Bloque:
 - b. Escalada rápida:
 - c. Escalada en hielo:
 - d. Liderazgo (escalada deportiva):

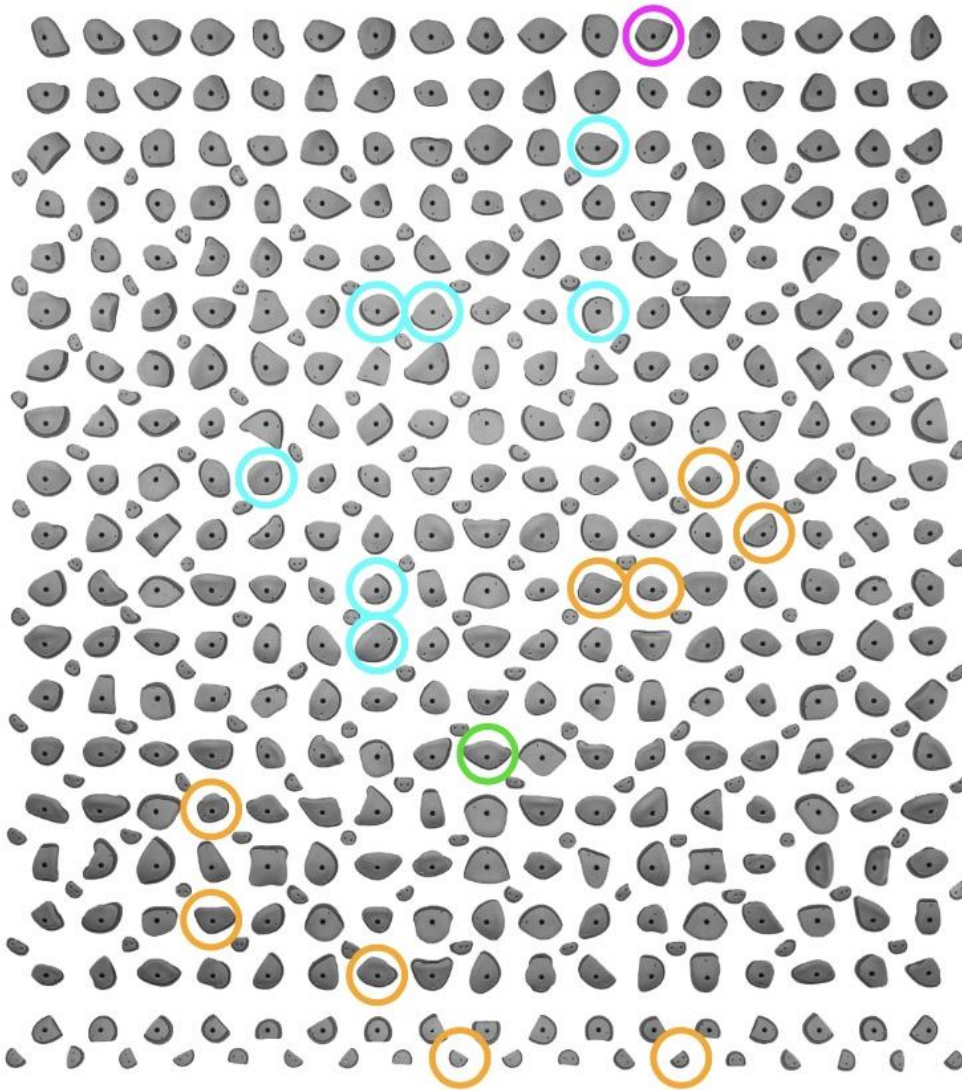
Uso de imágenes mentales en la escalada

		Nunca/ Muy difícil Un poco Moderado			Fácilmente Siempre/Muy Fácilmente	
		1	2	3	4	5
1.	¿Hasta qué punto utiliza imágenes en el deporte? ¿escalada?	1	2	3	4	5
	a. ¿Usas imágenes antes de la práctica?	1	2	3	4	5
	b. ¿Usas imágenes durante la práctica?	1	2	3	4	5
	c. ¿Usas imágenes después de la práctica?	1	2	3	4	5
2.	Al usar imágenes, ¿se ve a sí mismo desde fuera de tu cuerpo, como si estuvieras mirando usted mismo en un video? (perspectiva externa)	1	2	3	4	5
	a. ¿Qué tan vívida es esta imagen?	1	2	3	4	5
	b. ¿Con qué facilidad puedes cambiar esa imagen?	1	2	3	4	5
3.	Al usar imágenes, ves lo que tu ver como si realmente estuviera escalando (perspectiva interna)?	1	2	3	4	5
	a. ¿Qué tan vívida es esta imagen?	1	2	3	4	5
	b. ¿Con qué facilidad puedes cambiar esa imagen?	1	2	3	4	5
4a.	¿Con qué facilidad puedes ver una parte de una ruta de escalada?	1	2	3	4	5
4b.	¿Con qué facilidad puedes ver una ruta de escalada completa?	1	2	3	4	5
5a.	¿Con qué facilidad puede aislar partes de un escalada acción (como agarrar una presa)	1	2	3	4	5
5b.	¿Con qué facilidad puedes ver una acción de escalada completa (que incluye varias bodegas)	1	2	3	4	5

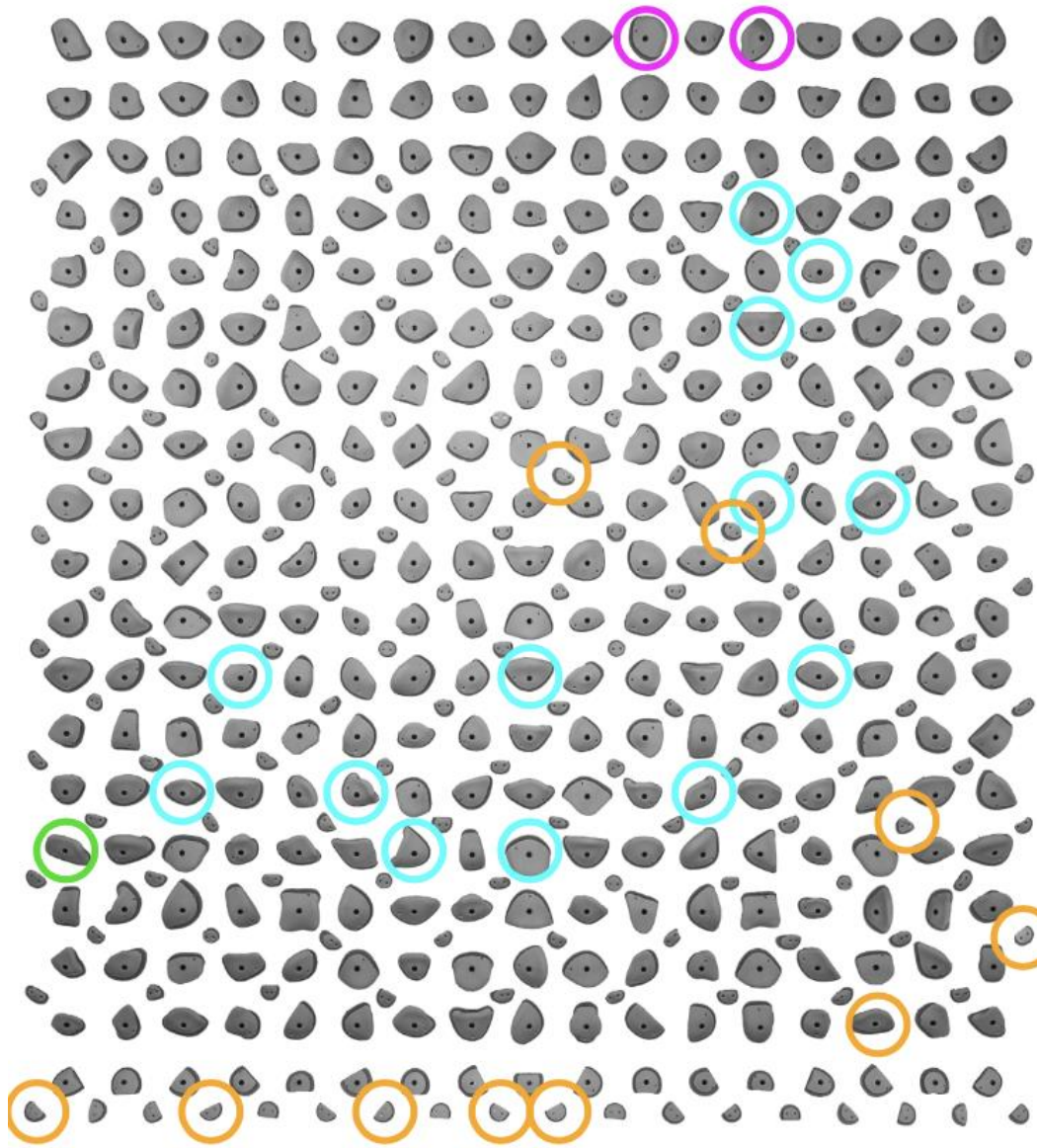
Anexo 5. Diferentes niveles de vía en la KilterBoard



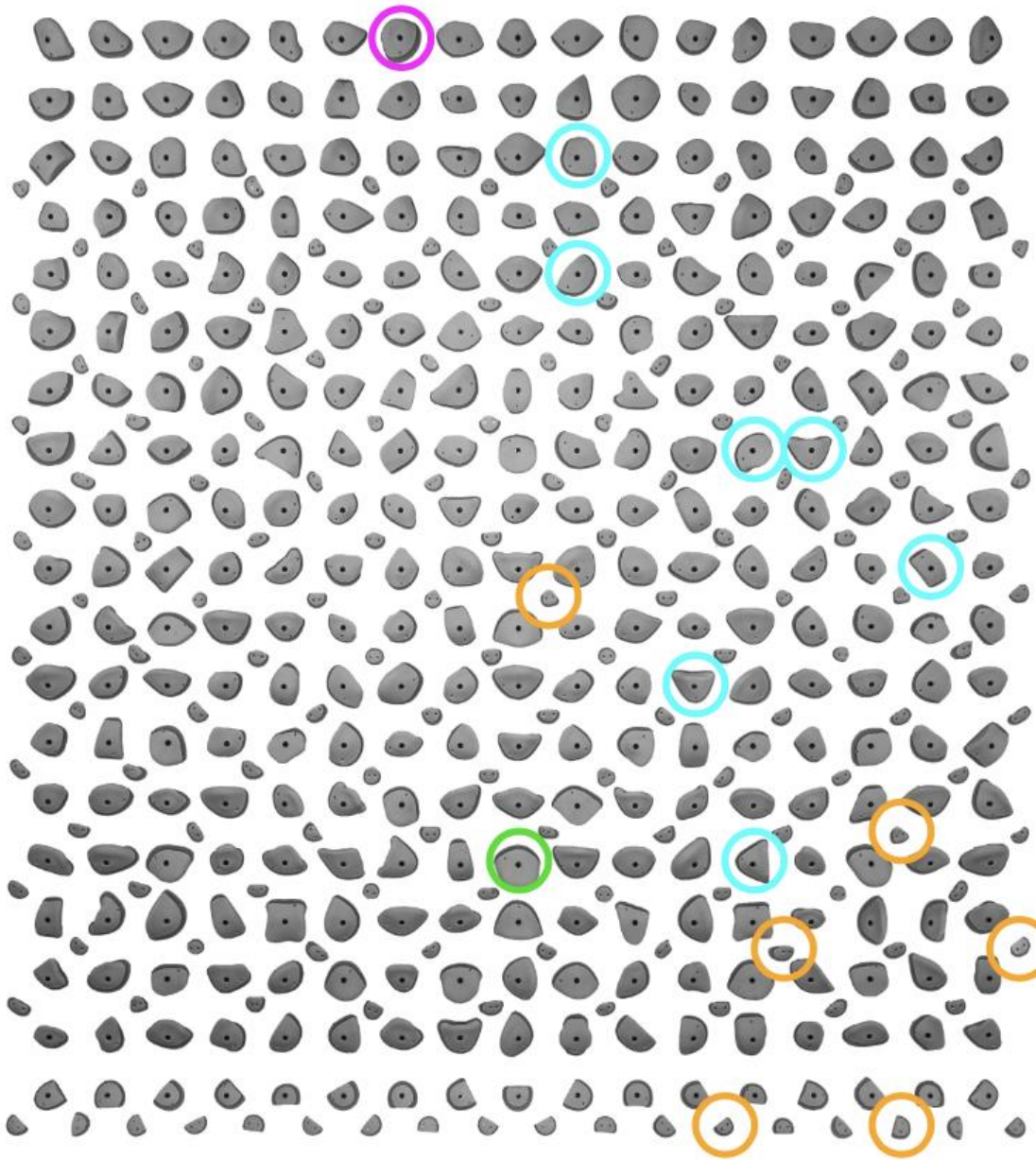
V1=5+



V3=6a



V4=6b+



V7=7a+