

Una tarea para evaluar la agudeza visual dinámica y una valoración de la estabilidad de sus mediciones

Lluïsa Quevedo^{1,3}, José Antonio Aznar-Casanova^{2,3*}, Dolores Merindano¹,
Joan Solé⁴

¹ *Universidad Politécnica de Cataluña*; ² *Universidad de Barcelona*;
³ *Grupo de Investigación en Neurociencia Visual (GRINVI)*;
⁴ *INEFC Barcelona*

Apenas existen instrumentos de medición adecuados de la capacidad para discriminar estímulos en movimiento, cuya aplicación resulte fácil y cuyas valoraciones sean estables a través del tiempo. También se constata la ausencia de un paradigma de evaluación que se muestre sensible ante aquellos factores que, en estudios previos, han sido relacionados con la visión dinámica. En consecuencia, nos proponemos como objetivo diseñar una tarea que permita la valoración de la agudeza visual dinámica (AVD), definida como la capacidad de discriminar detalles en condiciones de movimiento relativo entre sujeto y objeto. Para ello, hemos realizado dos estudios psicofísicos. El primero muestra que la AVD resulta modulada por tres factores: velocidad, contraste y trayectoria del estímulo móvil, interaccionando significativamente los dos primeros. En el segundo estudio, hemos averiguado la correlación entre la AVD obtenida por los sujetos en tres momentos separados, al menos, una semana (t1 y t2) y entre, al menos, dos semanas (t2 y t3). Estas oscilaron entre 0,78-0,92, para una velocidad de 14,1°/seg. y entre 0,72-0,85 para una velocidad de 1,4°/seg. Finalmente, comparamos las valoraciones de AVD en esos tres momentos, no encontrando diferencias significativas en el factor temporal. Concluimos que, nuestra tarea constituye una herramienta objetiva, y de fácil aplicación tanto clínica como experimental, muy útil para valorar la AVD.

* **Correspondencia:** J. Antonio Aznar Casanova. Depto. Psicología Básica. Facultad de Psicología. Universidad de Barcelona. Passeig de la Vall d'Hebron, 171. 08035-Barcelona (Spain). **Agradecimientos:** Este trabajo ha sido realizado con el soporte de una ayuda del Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (Ref. SEJ2006-15095/PSIC). Expresamos nuestra gratitud hacia el Editor asociado (Dr. Juan Botella) cuyas sugerencias y aportaciones han contribuido a una notable mejora de este trabajo. También hacemos extensible nuestro agradecimiento a los revisores anónimos, todos ellos, sin duda, han participado en mejorar significativamente la calidad del mismo.

El término agudeza visual dinámica (AVD) fue acuñado en 1949 por Ludvigh y Miller para describir la capacidad para discriminar detalles de un objeto cuando existe movimiento relativo al sujeto (Cash, 1996). En el ámbito de la percepción visual, la agudeza visual dinámica ha sido mucho menos estudiada que la estática (AVE). En forma similar, la AVE ha sido la capacidad más comúnmente evaluada en gabinetes optométricos y oftalmológicos. Sin embargo, como apuntan Long y Zavod (2002), diversas razones evidencian la inadecuación de considerar a la agudeza visual estática como un buen indicador global de la funcionalidad del sistema visual. Analicémoslos con algo de detalle.

El movimiento está presente en muchos de los estímulos a los que debemos responder en la vida real (no son estáticos, como los estímulos utilizados para evaluar la AVE). Por otra parte, y en contraposición con lo que sucede en las pruebas de evaluación de la AVE, la mayor parte de los estímulos cotidianos no tienen contraste máximo (blanco contra negro). Por ejemplo, las señales viarias sobre el paisaje, las pelotas de tenis sobre la pista, los desniveles en la práctica del esquí, las estimulaciones difuminadas por la iluminación del atardecer, la niebla o la lluvia, etc, son ejemplos de situaciones en las que la estimulación no tiene contraste máximo. Probablemente por ello, parece lógica la popularidad de la que actualmente gozan los instrumentos para evaluar la función de sensibilidad al contraste (Campbell y Maffei, 1981; Pomerance y Evans, 1994) y se hace evidente la necesidad de contar con algún instrumento para medir la AVD, que involucre de alguna manera la función de sensibilidad al contraste (FSC).

Hace ya más de veinte años, el *Comitee on Vision* del *National Research Council* (1985) de los Estados Unidos de América declaró en su libro *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*, que la combinación de medidas de AVD, junto con las de FSC, ofrecerían, sin duda, valoraciones más válidas y potentes de la funcionalidad del sistema visual que la AVE, recomendando la inclusión de la evaluación de las primeras en las baterías de exámenes visuales para automovilistas, pilotos de aviación y deportistas. No obstante, la relativa escasez de trabajos sobre la AVD conlleva un conocimiento limitado de la visión ante estímulos dinámicos (Hoffman, Rouse y Ryan, 1981; Banks, Moore, Liu y Wu, 2004). La mayoría de estos estudios se han centrado principalmente en determinar los factores del estímulo móvil que influyen sobre la AVD, tales como el tamaño, el contraste, la velocidad angular de desplazamiento y el tiempo de exposición. Así, se ha constatado que la AVD se ve reducida al aumentar la velocidad de desplazamiento del estímulo (Ludvigh, 1949; Morrison, 1980; Prestrude, 1987). Los distintos investigadores, sin embargo, reflejando las

diferencias de los métodos y condiciones experimentales utilizadas, difieren sensiblemente con respecto a la velocidad a la cual la AVD empieza a verse deteriorada significativamente. Como consecuencia de ello, los resultados obtenidos por diferentes autores, para determinar la velocidad límite donde comienza el deterioro en agudeza, no concuerdan. Así, Weissman y Freeburne (1965) establecen los 120°/seg., Brown (1972) sugirió los 25-30°/seg., mientras que Prestrude (1987) señala los 50°/seg. como velocidad límite. Esta disminución de la agudeza visual para estímulos en movimiento ha sido constatada tanto para desplazamientos horizontales como verticales (Miller, 1958).

La AVD se ve potenciada por el aumento del contraste entre el estímulo y el fondo sobre el que se desplaza (Aznar-Casanova, Quevedo y Sinnet, 2005; Long y Garvey, 1988; Mayyasi, Beals, Templeton y Hale, 1971). La correlación entre la AVD y AVE suele ser baja y aumenta de forma inversamente proporcional a la velocidad del estímulo. De hecho, es usual encontrar diferencias individuales importantes en AVD en sujetos con similar AVE (Long y Penn, 1987; Ludvigh y Miller, 1958).

Es preciso subrayar que los tests tradicionalmente utilizados para evaluar la agudeza visual dinámica suelen ser rotadores (similares a los antiguos tocadiscos) que hacen girar un optotipo de letras negras sobre fondo blanco. Entre las limitaciones que apuntan los diversos autores (por ejemplo, Coffey y Reichow, 1990) se destaca su falta de adecuación (difícilmente nos encontramos con trayectorias circulares, que provocan excesiva ciclotorsión ocular y condiciones de máximo contraste en la vida real) y el hecho de que apenas existan estudios que avalen la estabilidad temporal de la medida de la AVD. Por ello, con el objeto de asegurar la adecuación de la medida según el contexto de aplicación, la tarea que hemos diseñado, permite seleccionar el contraste entre la figura-estímulo y el fondo de la pantalla. Además, en su desplazamiento por la pantalla, el estímulo puede describir trayectorias rectilíneas (horizontales y oblicuas) a diferente velocidad.

En resumen, a través de la revisión bibliográfica realizada, observamos que los diversos autores constatan una gran escasez de trabajos publicados sobre la agudeza visual dinámica. A nuestro juicio, dos líneas de razonamiento podrían justificar esta carencia, una de tipo técnico-instrumental y otra de tipo teórico-metodológico. En efecto, por una parte, a pesar de la importancia y demanda creciente de evaluación de la capacidad para discriminar estímulos en movimiento, desde ciertos ámbitos (por ejemplo, deporte, conducción de vehículos, simuladores de vuelo/pilotaje, videojuegos, etc.), apenas existen instrumentos de medición adecuados, cuya aplicación resulte fácil, y cuyas valoraciones sean estables a través del

tiempo. Tampoco se ha adoptado un instrumento estándar o de referencia común entre investigadores, que permita comparar los datos. Tecnológicamente, uno de los principales obstáculos para la investigación y uso extendido de la evaluación de la AVD se deriva de la dificultad de producir dispositivos gráficos (pantallas CRT ó TFT) con altas capacidades para mostrar velocidades, por ejemplo, en torno a 120 Km/h, o lo que es lo mismo 33,6 m/seg., lo cual equivale a 3.850°/s (grados de ángulo visual por segundo) y a 641,7 rpm (revoluciones por seg., en movimiento circular uniforme). Por otra parte, detectamos la ausencia de un paradigma de evaluación que se muestre sensible ante aquellos factores que, en estudios previos, han sido relacionados con la visión dinámica. En consecuencia, en este trabajo nos proponemos como objetivo principal diseñar una tarea que permita obtener una valoración de la AVD, precisa y adecuadamente operacionalizada, tal que exhiba cierta sensibilidad ante los factores que parecen sustentar esta capacidad visual y que resulte útil y fácil de aplicar al evaluador. Esta contribución podría suponer un primer paso en el avance hacia el desarrollo de un procedimiento de medida, que pueda ser considerado como un paradigma de evaluación de la capacidad para la visión ante estímulos dinámicos.

El objetivo descrito en el párrafo anterior motivó la realización de dos estudios. En el primero, verificamos si los factores velocidad, contraste y dirección de la trayectoria del móvil afectan, o no, a las mediciones de AVD, obtenidas mediante nuestra tarea, lo que podría dar soporte al futuro diseño de un paradigma de evaluación de la AVD. En el segundo estudio, valoramos la AVD en tres momentos diferentes, suficientemente espaciados en el tiempo, a fin de cuantificar la estabilidad temporal de nuestras mediciones de la capacidad visual dinámica. El hecho de disponer de una prueba para medir esta relevante capacidad visual que sea estable en el tiempo, útil y de fácil aplicación, es crítico tanto para avanzar en la comprensión de la noción de AVD, como para la predicción del comportamiento en actividades tan importantes como son la conducción de vehículos (por ejemplo, Burg, 1967 y 1968), el rendimiento laboral y el deportivo (por ejemplo, Solomon, Zinn & Vacroux, 1988).

EXPERIMENTO 1

La AVD mide la capacidad visual para apreciar los detalles de un estímulo móvil, de un observador en movimiento o de ambos en movimiento relativo. La velocidad de un estímulo en movimiento puede calcularse mediante la ecuación $v = F_e / F_t$; donde F_e indica la frecuencia

espacial y Ft la frecuencia temporal. Por tanto, cuando la AVD se evalúa mediante estímulos digitales (discretos), que inducen movimiento aparente, los factores principales que la afectan se relacionan con el movimiento del estímulo (la velocidad y la dirección o trayectoria), la resolución espacial del mismo (frecuencias espaciales a cierto contraste) y, finalmente, la resolución temporal (la duración de la presencia de cada fotograma-estímulo y del intervalo entre dos fotogramas sucesivos). Por consiguiente, elegimos un optotipo que proporcionase una valoración de la resolución espacial, en diferentes condiciones de discriminabilidad (contraste) y lo mostramos a los sujetos en movimiento, variando la velocidad y la trayectoria.

Si nuestra medida de la visión dinámica es sensible a los factores descritos (contraste, velocidad y trayectoria), se asumirá que la tarea está diseñada de modo congruente con los hallazgos en la literatura científica precedente. En consecuencia, cabe formular las siguientes predicciones: 1) la AVD disminuirá conforme disminuye el contraste. (Long y Garvey, 1988; Mayyasi et al, 1971); 2) y la velocidad del desplazamiento (Long y Vogel, 1998; Miller, 1958); 3) la AVD será superior (mayor capacidad visual) en la trayectoria horizontal que en las diagonales (Gesell, Igs y Bullis, 1950).

MÉTODO

Participantes. Treinta y tres estudiantes voluntarios (17 varones y 16 mujeres), con edades comprendidas entre 18 y 33 años (media=23,34; DT=3,92). En todos los casos, la AVE normal o corregida a normal, determinada con el anillo Disco Universal de Palomar (Palomar, 1991), fue superior a 0,9. Además, teniendo todos los observadores visión corregida, el déficit objeto de corrección nunca excedió las 4 dioptrías. Respecto a los valores de la función de sensibilidad al contraste, todos estaban situados dentro de la franja de normalidad, según criterio de Vectorvision¹ Inc. (Viñas, 1988).

¹ La empresa “General Optica” comercializa en España la carta óptica de VectorVision Inc, nosotros usamos el modelo CSV 1000 para evaluar FSC (Contrast Sensitivity Test). Para más información sobre Vectorvision Inc., consúltese la página web:

<http://www.vectorvision.com/html/testsContrastSensitivity.html>

El manual de instrucciones de esta carta óptica, puede encontrarse en el libro, traducido a español de Viñas Boada, A. (1988). *Instrumentos de Oftalmología*. Barcelona: General Optica.

Materiales y aparatos

Usamos la carta óptica del Anillo-Disco Palomar para la medición de la AVE, y el CSV 1000 (Viñas, 1988; véase también, véase también la Nota a pie de página) para la medición de la FSC. Un fotómetro Gossen Mavolux digital con medidor de luminancia nos permitió corregir las no-linealidades. Los estímulos fueron presentados mediante un ordenador Pentium-IV 1200 MHz, con 256 Mb de RAM, caja de respuestas de 8 botones, pantalla de 17" con resolución espacial de 1024x768 píxels y tasa de refresco de 100 Hz. El tamaño del pixel era de 0,3016 mm.

Estímulos

Utilizamos el Optotipo Universal de Palomar (Palomar, 1991), que en su máximo contraste está constituido por un anillo negro con un disco blanco como punto de referencia de apertura y un círculo negro central, que subtiende el mismo ángulo en todas las orientaciones, ya que los tamaños del disco blanco y el círculo negro del centro corresponden ambos al del *mínimum separabile*, y entre todos sus trazos existe siempre esta misma separación (véase Figura 1).

El disco blanco, cuya localización debe determinar el sujeto evaluado, se puede situar en ocho posiciones correspondientes a los extremos del diámetro vertical, horizontal y oblicuo, a 45° y 135°, respectivamente. Estos anillos se desplazan en tres distintas trayectorias de "ida y vuelta" (una horizontal, y dos diagonales) y a tres velocidades diferentes. La luminancia del fondo de la pantalla fue de 78 cd/m², y la de los estímulos de 0.1 cd/ m², 23 cd/ m² y 60 cd/ m². Por tanto, según la fórmula de Michelson (1927), los contrastes del estímulo usados fueron $m_1 = 0.997$, $m_2 = 0.54$ y $m_3 = 0.13$, respectivamente. [$m = (L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}) / (L_{\text{máx}} + L_{\text{mín}})$].



Figura 1.- Optotipos de Palomar con Contraste 1 (0.997), Contraste 2 (0.54) y Contraste 3 (0,13).

La Agudeza Visual (AV) se define como el valor del inverso del ángulo visual, expresado en minutos, que subtende el mínimo detalle del *test* que se debe reconocer. Por tanto, depende tanto del tamaño del píxel (0.3016 mm) a una determinada resolución espacial (en nuestro caso, 1024 x 768 pixels), observado a una cierta distancia (2 m). El tamaño aumenta, incrementando 1 píxel cada 2,3 segundos, desde el mínimo (s=2 pixels) que equivale a una AV de 0,964 hasta el máximo (s=11 pixels) que corresponde a una AV de 0,175.

La velocidad de desplazamiento del optotipo (V) depende del número de fotogramas por segundo que pueden ser presentadas en el dispositivo gráfico (*Tr*= tasa de refresco de la pantalla, en nuestro caso 100 Hz.), del tamaño del píxel y del incremento del avance del estímulo (A) a través de la pantalla y de la distancia de observación (D). La expresión formal de la velocidad es la que muestra la siguiente ecuación 1.

$$V(m / seg.) = Tr(frames / seg.) \cdot D(m) \cdot A(m)$$

En este experimento hemos presentado los estímulos a tres velocidades² diferentes, sobre la pantalla: 0,05; 0,302 y 0.503 m/seg. Es decir, expresada en grados de ángulo visual recorrido por cada segundo, las velocidades en el ojo fueron: 1,43; 8.58 y 14.1°/segundo.

Procedimiento. El observador entraba en el laboratorio y, tras registrar sus datos personales (edad, sexo, etc.), se sentaba ante el teclado y se examinaba su AVE (Agudeza Visual Estática), estando a una distancia de 5 m, respecto a la carta óptica, de acuerdo con lo prescrito en el protocolo estándar. Es preciso aclarar que, en el Experimento 1, todas las mediciones se registraron estando el observador a 2 metros. Sin embargo, puesto que la AVE fue valorada a 5 m (de acuerdo con el protocolo estándar ordinario), únicamente, con el fin de poder comparar la AVD con la AVE, se realizó una medición adicional de la AVD a 5 m, mostrando el estímulo móvil a una velocidad de 1,43°/seg. De este modo las condiciones de examen eran similares en todo, excepto en que en una (AVE) no se movía el estímulo y en la otra (AVD) sí. Solo gracias al uso de esta estrategia

² Cuando nos referimos a la velocidad del estímulo móvil sobre el globo ocular, esta se expresa (como es pertinente) en unidades angulares (arco de circunferencia), que son independientes de la distancia de observación. Mientras que, cuando nos referimos a la velocidad del estímulo móvil sobre la pantalla, entonces suele expresarse en unidades lineales por unidad de tiempo, es decir, como espacio lineal recorrido por unidad de tiempo (ejem., pixels / seg).

(acercar al sujeto a la pantalla) es posible obtener velocidades de $14,1^\circ/\text{seg}$ con un monitor cuya tasa de refresco sea de 120 Hz, es decir de los de mayor resolución temporal que, actualmente, se dispone.

A continuación, se colocaba al observador a 2 m de la pantalla, con la mano dominante sobre la caja de respuestas y comenzaba el experimento propiamente dicho. Tras presentar las instrucciones oralmente, el observador realizaba un entrenamiento en la tarea, consistente en la ejecución de una serie de 10 ensayos de familiarización. Después, se le pedía que fijase la mirada en la cruz mostrada en el centro de una pantalla en blanco.

La prueba se implementó en un programa de ordenador (escrito en lenguaje C++), que presentaba un disco-optotipo (véase figura 1) aumentando el tamaño de dicho estímulo a razón de $0,14 \text{ mm}/\text{seg}$ en una particular trayectoria y un cierto contraste.

Con el fin de evaluar la AVD, utilizamos un paradigma de detección con elección forzada entre 8 alternativas (para señalar la orientación del estímulo en movimiento). En cada ensayo, el sujeto debía indicar la posición (orientación) de la apertura del estímulo, mediante una caja de respuesta de ocho botones, especificando cada uno de ellos una orientación espacial. Usamos el método psicofísico de escalera adaptativa, con el fin de obtener el límite inferior de discriminabilidad de la orientación (AV, para una velocidad particular).

La secuencia de un ensayo experimental comenzaba cuando el estímulo aparecía por un extremo lateral de la pantalla (izquierda o derecha) o por una de las dos esquinas superiores de la misma, desplazándose horizontal o diagonalmente (ida y vuelta), según la trayectoria particular del ensayo, a una velocidad predeterminada. El tamaño del estímulo iba aumentando progresivamente, a intervalos temporales regulares, hasta hacerse lo suficientemente grande como para que el sujeto pudiera detectar hacia donde estaba orientada la apertura y responder presionando la tecla correspondiente de la caja de respuestas. Cuando el número de respuestas correctas era igual a 10, finalizaba el ensayo, registrándose la velocidad límite media (en $\text{m}/\text{seg.}$) y la desviación estándar, así como el número de errores producidos (falsas detecciones). Los sujetos no recibieron ninguna retroalimentación de su rendimiento.

Por tanto, el estímulo se desplazaba siguiendo distintas velocidades seleccionadas al azar ($1,43$; $8,58$ y $14,1^\circ/\text{segundo}$), describiendo distintas trayectorias en la pantalla (180° , 45° y 135°), y variando los distintos contrastes sobre el fondo blanco de la pantalla (máximo= $0,99$, medio= $0,54$, y mínimo= $0,13$). (véase Figura 1.). La prueba consistía en 10 bloques

(repeticiones) de 27 ensayos, resultantes de combinar 3 (contrastes) x 3 (velocidades) x 3 (trayectorias). La variable dependiente registrada fue la AVD, definida, operacionalmente, como máxima resolución espacial detectable en el mínimo tiempo, de un estímulo en movimiento. La duración total de la prueba para cada observador, en promedio, fue de entre 40 y 50 minutos.

RESULTADOS

Primero, a fin de estudiar la relación entre AVE y AVD, a 5 metros (velocidad de 5,74°/seg), calculamos el coeficiente de correlación momento-producto de *Pearson*, garantizando la comparabilidad de las condiciones de observación y eliminado las claves oculomotrices (acomodación y convergencia) presentes en las medidas de AVD tomadas a 2 metros. El valor obtenido, de la correlación entre ambas capacidades visuales, fue de 0,64, lo que revela que a esta velocidad ya comienza a diferenciarse AVE y AVD.

Después, con el fin de verificar la influencia de los tres factores (velocidad, contraste y trayectoria) sobre la AVD, aplicamos un ANOVA de medidas repetidas. Los resultados del ANOVA (3 x 3 x 3), con factores intrasujetos *velocidad*, *contraste* y *trayectoria*, revelaron efectos significativos para las variables contraste [F(2,64)= 266,27; p<0,001], velocidad [F(2,64)= 172,87; p<0,001] y trayectoria [F(2,64)= 9,7; p<0,001]. Más importante, el ANOVA mostró una interacción significativa de primer orden, entre las variables contraste y velocidad [F(4,128)= 2,54; p<0,043], lo que indica que el efecto de la velocidad fue modulado por el contraste. Ninguna otra interacción fue significativa. Estos resultados indicaron que, para cada condición de velocidad, la AVD varía según el nivel de contraste. Así, aunque la AVD aumenta al disminuir la velocidad, lo hace de forma distinta según el contraste. Mientras que, el efecto de la trayectoria sobre la AVD es independiente de la velocidad y del contraste. La Figura 2 muestra que el sentido de la interacción es inverso, es decir, la AVD aumenta conforme crece el contraste, pero disminuye conforme aumenta la velocidad.

Los correspondientes contrastes a posteriori, usando la prueba estadística *t de Student*, pusieron de manifiesto la existencia de diferencias estadísticamente significativas en todas las combinaciones de niveles de velocidad con niveles de contraste (véase Tabla 1).

El factor contraste mostró una relación directa, de forma que la AVD aumentaba con el contraste. Así, la agudeza dinámica fue mayor cuando el contraste fue alto (AVD= 0,588; DE= 0,016), y disminuyó para el contraste medio (AVD= 0,521; DE= 0,017) y bajo (AVD= 0,348; DE= 0,012).

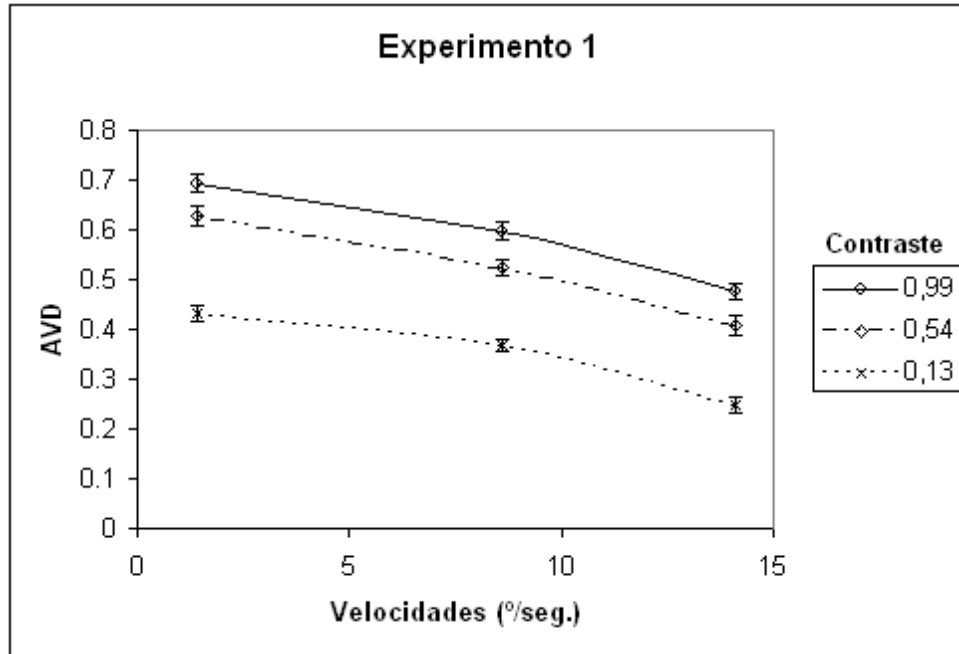


Figura 2.- Variación de la agudeza visual dinámica (AVD) en función de la velocidad y del contraste del estímulo móvil.

Tabla 1. Contrastes a posteriori entre niveles de velocidad y contraste en luminancia.

Contraste (m)	V ₁	V ₂	V ₃
m ₁ y m ₂	t(32)=5,41;p<0.001	t(32)=6,8 ;p<0.001	t(32)=4,89 ;p<0.001
m ₁ y m ₃	t(32)=13,16;p<0.001	t(32)=15,19;p<0.001	t(32)=21,7;p<0.001
m ₂ y m ₃	t(32)=8,41;p<0.001	t(32)=12,83;p<0.001	t(32)=20,56;p<0.001

Por otro lado, los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que la AVD y la velocidad mantienen una clara relación inversa. Así, con velocidad alta (0,503 m/seg o 14,1 °/seg) se obtuvo la menor AVD (AVD=0,377; DE=0,015), mientras que con la velocidad media (0,302 m/seg o 8,58 °/seg) conseguimos la AVD media (AVD= 0,496; DE= 0,014), y con la velocidad más baja (0,05 m/seg o 1,43°/seg), se obtuvo la mayor AVD (AVD= 0,584; DE= 0,017).

Así mismo, el efecto de la trayectoria se evidenció estadísticamente significativo [$F(2,64)= 9,7$; $p<0,001$], siendo superior la AVD alcanzada en la trayectoria horizontal (AVD= 0,603; DE= 0,1), que en la diagonal principal (AVD= 0,5822; DE= 0,098) o en la diagonal secundaria (AVD= 0,5794; DE= 0,094). La Figura 3 ilustra estos datos.

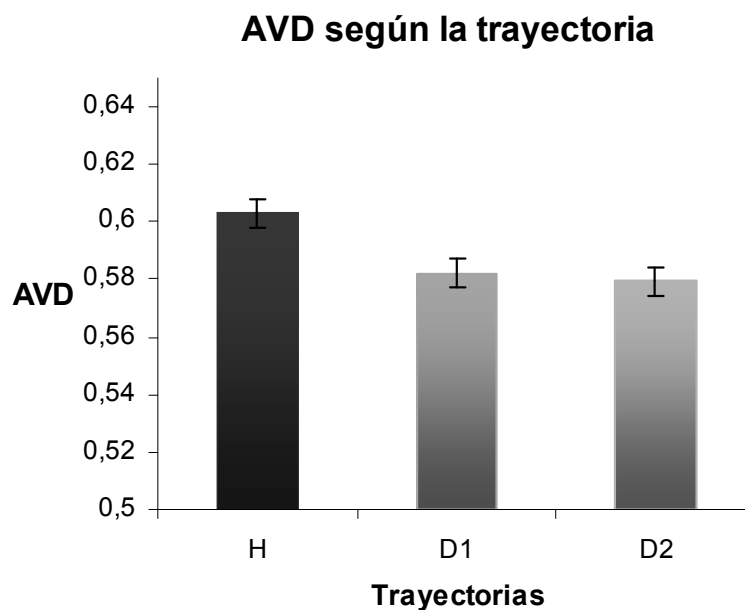


Figura 3.- Comparación de la AVD obtenida en las tres trayectorias, donde se evidencia la superioridad de la horizontal (H:horizontal, D1:diagonal principal, D2:diagonal secundaria).

En cuanto a la relación existente entre la AVD y el tipo de trayectoria utilizada, pruebas de contrastes a posteriori (*t de Student*), evidenciaron la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la AVD medida en la trayectoria horizontal con respecto a los valores obtenidos en

las trayectorias diagonales. Así, al comparar la trayectoria horizontal con la diagonal principal obtuvimos [$t(32)=2,467$; $p<0,05$] y al compararla con la diagonal secundaria [$t(32)=2,291$; $p<0,05$]. Finalmente, constatamos que entre las dos trayectorias diagonales no existían diferencias estadísticamente significativas [$t(32)=0,27$; $p=0,787$].

DISCUSION

Hemos constatado que, de acuerdo con los resultados obtenidos previamente por Mayyasi et al., (1971) o Long y Garvey (1988), el incremento del contraste mejora la AVD, mientras que el de la velocidad la deteriora, lo que es consistente con los resultados encontrados por Miller (1958) y corroborados por Long y Vogel (1998). Adicionalmente, se ha comprobado que el efecto de la velocidad del estímulo sobre la AVD viene modulado por el contraste entre la luminancia del estímulo y la del fondo de la pantalla sobre la cual se desplaza. Concretamente, la disminución de la AVD es más importante en las condiciones de bajo contraste. Por otra parte, hemos observado que en los desplazamientos horizontales se obtienen valores de agudeza visual dinámica superiores a los que se consiguen en las trayectorias diagonales del objeto. Este último dato está en consonancia con los resultados aportados por otros estudios, como el de Gesell et al, (1950). Estos autores defienden que la discriminación de un objeto que se desplaza en diagonal suele resultar más difícil que si lo hace horizontalmente, dado que los movimientos oculares necesarios en esas acciones son más complejos y, a nivel ontogenético, se adquieren más tarde (efecto oblicuo).

El valor de la correlación obtenida entre AVE y AVD (0,64) a velocidades medias (5.74°/seg) muestra que a esta velocidad ya comienza a diferenciarse AVE y AVD. Estos datos, en cuanto que obtenemos tan solo una correlación moderada, no contradicen los obtenidos por los diversos autores que informan sobre un notable deterioro a partir de 30-60°/seg. (Fergenson y Suzansky, 1973; Long y Penn, 1987).

En resumen, el análisis de los resultados de este experimento sugiere que nuestra medida de la AVD puede servir de fundamento para el diseño de un instrumento eficiente para evaluar la agudeza visual dinámica. Esto es así, por el hecho de que los resultados obtenidos son, en general, consistentes con los factores que sustentan la noción de AVD y las evidencias encontradas en la literatura científica especializada en el tema. Aportamos un procedimiento, basado en una tarea experimental, en el que es posible fundamentar un paradigma de evaluación de esta capacidad de visión dinámica, en el que se combinan medidas de agudeza visual y sensibilidad al contraste (implicando al sistema parvocelular) con medidas

que combinan parámetros espaciales y temporales del estímulo (implicando al sistema magnocelular). Es por esta razón que, al valorar la coordinación entre ambos sistemas, se está obteniendo un indicador de la capacidad global del sistema visual, lo que la hace relevante para predecir el comportamiento visoespacial y el control motor de la acción (percepción-acción), presente en la mayoría de las actividades humanas.

EXPERIMENTO 2

Una forma de fiabilidad, exigible a una prueba o instrumento de medida, hace referencia a la estabilidad temporal de las medidas con él obtenidas. Entre los diferentes métodos utilizados para valorar la estabilidad temporal de las mediciones obtenidas con una prueba, la fiabilidad test-retest es una de los más comúnmente utilizados. Como es sabido, un problema que puede conllevar este tipo de estudios es que si el intervalo de tiempo entre la aplicación de las dos pruebas es breve, el resultado obtenido en la segunda ocasión puede verse influido por el efecto residual del aprendizaje. Por ello, realizamos dos valoraciones adicionales a la descrita en el experimento 1, a las que nos referiremos como t_2 y t_3 .

Es importante indicar aquí que, previamente a la primera medición (t_1), se realizó una exhaustiva explicación de las instrucciones a cada sujeto, así como una prueba preliminar o entrenamiento de una serie de 10 ensayos, que les permitiera familiarizarse con la tarea y el modo de respuesta. Sin embargo, en los momentos t_2 y t_3 no se realizó ningún entrenamiento adicional, sino que los participantes hicieron la prueba directamente.

En el contexto optométrico, la estrategia descrita se ha utilizado para valorar la fiabilidad de un instrumento utilizado para la evaluación de la coordinación ojo-mano, denominado *Dyna Vision*, donde los autores (Klavora, Gaskovski y Forsyth, 1995), con el objeto de reducir los efectos del aprendizaje entre tiempos, establecen un intervalo de dos semanas. Adicionalmente, para disminuir los efectos de la familiarización con el test, realizaron una prueba previa, consistente en ejecutar unas series de 30 segundos hasta obtener resultados estables. Nosotros, para cuantificar la estabilidad temporal de la tarea aplicada mediante el método de test-retest, y así ser susceptible de ser comparada con otras mediciones existentes, aplicamos el test descrito en el Experimento 1 en tres momentos separados por un periodo de una semana (t_1 y t_2) y dos semanas (t_2 y t_3).

MÉTODO

Participantes. Los mismos que en el Experimento 1.

Estímulos. Utilizamos el Anillo Disco de Palomar. Esta vez, solo se tomaron los valores en trayectoria horizontal de “ida y vuelta”. La luminancia del fondo de pantalla fue de 78 cd/m^2 , y la de los anillos de 0.1 cd/m^2 , es decir, en condiciones de máximo contraste.

Procedimiento. Usamos el paradigma de detección (de la orientación de un detalle sobre un disco-optotipo) con elección forzada entre ocho alternativas de respuesta. El procedimiento experimental fue el mismo que utilizamos en el anterior experimento (método de escalera adaptativa). Con el fin de verificar la estabilidad temporal de la prueba diseñada, se presentaron, al azar, estímulos-optotipo con dos velocidades sobre pantalla (alta= $14,1^\circ/\text{seg}$. y baja= $1,43^\circ/\text{seg}$.), describiendo una trayectoria horizontal en la pantalla. El contraste del estímulo con el fondo de la pantalla fue el máximo, es decir, mantuvimos constante el contraste ($m=0.99$) y la trayectoria (horizontal) del estímulo. Para llevar a cabo este estudio diacrónico se midió la AVD de los sujetos en tres momentos diferentes. El primer momento (t_1) fue el que permitió realizar el Experimento 1. El segundo (t_2) tuvo lugar entre 7 y 15 días después de la realización del primer momento. Y el tercer momento (t_3) fue entre 16 y 36 días después del segundo. Con estas demoras temporales se esperaba reducir los posibles efectos del aprendizaje entre pruebas, que otros autores han señalado. Los sujetos no recibieron ninguna información acerca de su rendimiento.

RESULTADOS

Al objeto de determinar la estabilidad temporal intrasujeto para la prueba de medición de la AVD utilizada, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre los valores de AVD obtenidos en tres momentos (t_1 , t_2 y t_3), para cada una de las dos velocidades sobre el ojo del observador ($V1= 14,1 \text{ }^\circ/\text{seg}$ y $V2= 1,14 \text{ }^\circ/\text{seg}$). En todas las combinaciones de ‘momentos temporales’ con ‘velocidad del estímulo’ estudiados obtuvimos coeficientes de correlación significativos ($p<0,01$), aplicando una prueba bilateral, con valores altos (véase Tabla 2). Esto implica que, tanto en el caso de la velocidad baja ($V3= 1,14 \text{ }^\circ/\text{seg}$), como en el de la velocidad alta ($V1= 14,1 \text{ }^\circ/\text{seg}$), los sujetos que obtuvieron una valoración en AVD satisfactoria en el momento t_1 , también solieron obtenerla en el momento t_2 y en el momento t_3 (véase Figura 4). Por tanto, la medición

proporcionada a través de nuestra tarea, parece que exhibe un grado de estabilidad aceptable.

Tabla 2. Matrices de correlaciones entre los tres momentos temporales estudiados.

V1	T1	T2	T3	V2	T1	T2	T3
T1	-	-	-	T1	-	-	-
T2	0,78**	-	-	T2	0,72**	-	-
T3	0,92**	0,77**	-	T3	0,84**	0,85**	-

El doble asterisco indica que la correlación fue significativa a nivel 0.01 (prueba bilateral).

Para determinar la consistencia temporal de las puntuaciones obtenidas en la prueba de visión dinámica, se efectuaron comparaciones entre medias (*t* de *Student*) para muestras relacionadas. Los resultados revelaron (véase Figura 4) que no se ponen de manifiesto diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios de AVD obtenidos en los intervalos temporales t_1 , t_2 y t_3 , ni en el caso de velocidad alta ($V1=14,1$ %/seg) ni en el caso de velocidad baja ($V3=1,14$ %/seg). Adviértase, que el estudio anterior ya evidenció diferencias significativas según la velocidad fuese alta o baja. Y que, aquí, se ha estudiado la estabilidad temporal intravelocidades, encontrando que, a través del paso del tiempo, las medias de la muestra estudiada fueron estadísticamente equivalentes. Estos resultados no apoyan la idea de que la visión dinámica mejora con el entrenamiento.

DISCUSION

La comparación entre los distintos momentos evaluados no produjo diferencias significativas en el valor de la AVD. Este resultado indica, para las dos velocidades consideradas, que la medición proporcionada por la tarea utilizada es estable. Tal estabilidad no apoyan la tesis de la eficacia del entrenamiento visual dinámico, defendida por Long y colaboradores (Long y Riggs, 1991 y Long y Rourke, 1989), ya que no se observó ningún efecto de aprendizaje. Sin embargo, este resultado no debe llevar a concluir que, en general, los tratamientos de entrenamiento visual sean inefectivos. En nuestro estudio, no se ha aplicado tratamiento visual alguno (ejercitarse en la tarea) en el periodo comprendido entre las distintas mediciones efectuadas, simplemente se dejó transcurrir el tiempo, a fin evaluar la posible

estabilidad temporal de la medición. Por tanto, queda por averiguar, en el futuro, si la realización de ejercicios de visión dinámica puede incrementar el rendimiento ulterior en nuestra tarea.

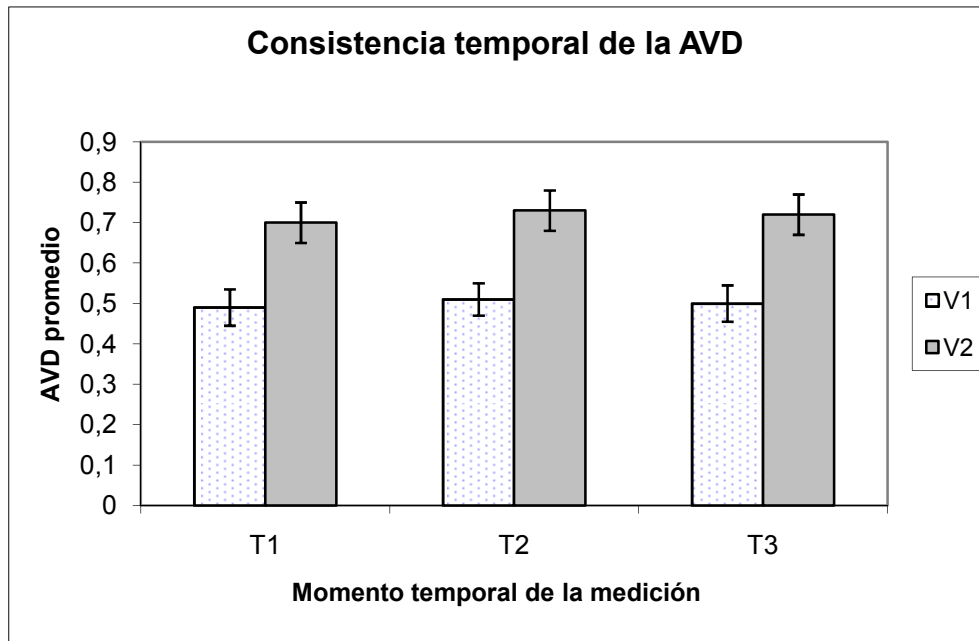


Figura 4. Representación de la AVD media de los participantes en este experimento, obtenida en los distintos momentos (T1, T2 y T3) de medición. Las barras de error expresan la desviación estándar de cada velocidad, según el momento de prueba.

Por lo que se refiere a los valores de las correlaciones obtenidas en los distintos tiempos de medida, observamos que, en general, son bastante altas (próximas a 0.80). Esto muestra que debe existir una alta relación entre los resultados obtenidos en las distintas mediciones llevadas a cabo en un tiempo medio comprendido entre una y dos semanas posteriores a la realización del test, en el caso de t_2 , y entre dos semanas y cinco para el caso de t_3 . Por consiguiente, la tarea diseñada proporciona una medida de la AVD que satisface, básicamente, el principio de invariancia, exigible a un instrumento de medida.

DISCUSION GENERAL

En la introducción se comentaron las razones para disponer de una tarea útil para contrastar la medición de la AVD en distintas condiciones experimentales y con la suficiente validez ecológica como para predecir el rendimiento del observador en algunas actividades de la vida cotidiana, tales como la conducción de vehículos y la práctica deportiva. El análisis de los resultados del Experimento 1 indica que la tarea utilizada parece adecuada para obtener mediciones aceptables de la AVD.

Nuestros resultados, además de concordar con los de estudios precedentes, han mostrado la existencia de una importante interacción entre el contraste y la velocidad. En términos más concretos, se ha observado que la AVD mejora con el nivel de contraste y se reduce con la velocidad. Por otra parte, el efecto de la velocidad del estímulo está modulado por el contraste. Concretamente, la disminución de la agudeza visual dinámica es mayor en condiciones de bajo contraste. Por otra parte, la disminución de la AVD, es más acusada en las trayectorias oblicuas que en las horizontales.

Nuestros resultados también indican que la tarea utilizada para medir la AVD muestra una alta estabilidad temporal. Por tanto, estos resultados producen valores altos de fiabilidad al computarse está mediante el método test-retest.. En todo caso, cabe considerar la posibilidad de perfeccionar el protocolo del test mejorando la prueba de familiarización.

Nuestros resultados, no concuerdan con los de Long y Riggs (1991) y Long y Rourke (1989). En ellos se vió que la AVD mejora con el entrenamiento. Aunque en nuestros datos no se halla detectado ningún efecto parecido. Por otra parte, nuestros datos no dan soporte a la tesis de la eficacia del entrenamiento visual dinámico, ya que no se observó efecto residual o de aprendizaje. No obstante, de nuestros resultados no se sigue, necesariamente, la ineficacia de los tratamientos visuales (*visual training*), ya que no aplicamos ningún tratamiento visual en el periodo inter-mediciones. Tampoco era el objetivo, en esta fase de fundamentación de un paradigma de evaluación. Nuestro objetivo era el de contrastar la estabilidad temporal de la valoración de la AVD que proporciona nuestra tarea. En consecuencia, sugerimos que, en el futuro, se investigue si la practica de ejercicios de visión dinámica, como los propuestos en esta tarea, mejoran el rendimiento subsecuente en AVD.

Por otra parte, hemos obtenido una correlación más alta entre la AVD valorada en t2 y t3 frente a t1. Claramente, el momento t1 incluye la combinación de condiciones experimentales de contraste, velocidad y trayectoria (Experimento-1), las cuales fueron eliminadas en los momentos t2 y t3. Podría argumentarse que esta simplificación de condiciones

experimentales podría estar afectando a los datos del Experimento 2 y, especialmente, a los mayores niveles de AVD obtenidos en t2 y t3 frente a t1. Ciertamente, por esta razón hicimos un método “test-threetest”, en vez de test-retest fue porque pensamos que una mayor duración de la prueba (270 ensayos en el momento t1) podría provocar mayor fatiga en los sujetos. Así, introduciendo una valoración adicional en el momento t3, la mejor comparación posible debería establecerse entre t2 y t3. Y, probablemente, la causa de obtener una ligera menor correlación entre t1-t2 (para velocidad alta) pudiera deberse a este hecho.”

Adicionalmente, hemos comprobado que la correlación obtenida entre AVE y AVD a 5 m (con velocidad 5,74°/seg) fue de 0,64. Este resultado indica que a esta velocidad ya se constata una diferenciación entre AVE y AVD. Y la correlación moderada encontrada, no está en contradicción con los resultados obtenidos por otros investigadores, quienes han informado de un más que notorio deterioro a partir de 30-60°/seg. (Fergenson y Suzansky, 1973; Long y Penn, 1987).

En definitiva, nuestros resultados pueden considerarse como un primer paso en el avance hacia el desarrollo de un procedimiento de medida, que pueda ser considerado como un paradigma de evaluación de la capacidad para la visión ante estímulos dinámicos. Un estándar adoptado para la medición de la AVD bajo visión central (no periférica). Así mismo, se evidencia que la tarea descrita constituye una herramienta objetiva, y de fácil utilización.

Por último, señalar que, considerando el vacío de instrumentos específicos, de probada validez y fiabilidad para medir la AVD, la principal contribución de este trabajo radica en ofrecer y poner a disposición de clínicos e investigadores una prueba de valoración de la capacidad de visión dinámica, que puede ser susceptible de aplicación a diferentes contextos de la vida cotidiana, tales como los propios de la práctica deportiva o de los ámbitos de la conducción de vehículos y de la seguridad viaria, en la verificación de hipótesis experimentales y análisis de los procesos básicos de la percepción del movimiento, o para comparar grupos de riesgo (cataratas, glaucoma, retinopatías, baja visión, etc).

ABSTRACT

A task to assess dynamic visual acuity and a valuation of the stability of its measurements. Despite the importance of dynamic visual acuity evaluation (DVA), there is hardly any specific measuring instrument that would be consistent and reliable in its evaluation and, at the same time, that would be of easy use. It is also been stated the lack of an evaluation paradigm sensible to the factors previously related to DVA. This was the aim of the proposed task of DVA evaluation, defined as the ability to discriminate details in conditions of relative movement between the subject and the stimulus. With this objective in mind two psychophysics studies were developed. The first one showed that there are three factors modulating DVA: speed, contrast and trajectory of the moving stimulus, with a significant interaction between the two first. In the second study the correlation between DVA, showed by the subjects in three different times, with at least one week (t1 and t2) and two weeks (t2 and t3) was investigated. The correlations oscillated between 0,78-0,92, for a speed of 0.50 m/seg (14,1°/seg.) and between 0,72-0,85 for a speed of 0.05 m/seg (1,4°/seg.). Finally, comparing the average DVA measurements of the three moments no significant differences were found. We conclude that our task constitutes an objective tool of easy application, both experimentally and clinically, and of proved usefulness to evaluate DVA.

REFERENCIAS

- Aznar-Casanova, J.A., Quevedo, Ll., Sinnet, S. (2005). The effects of drift and displacement motion on dynamic visual acuity. *Psicologica*, 26, 101-126
- Banks, P.M., Moore, L.A., Liu, C., Wu, B. (2004). Dynamic visual acuity: a review. *The South African Optometrist*, 63(2), 58-64.
- Brown, B. (1972). Dynamic Visual acuity, eye movements and peripheral acuity for moving targets. *Vision Research*, 12, 305-321.
- Burg, A. (1967) The relationship between vision tests scores and driving record. Report nº 67-24. Los Angeles: University of California, Department of Engineering. Citado en: Comité on Vision of the National Research Council (1985) *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press.
- Burg, A. (1968) Vision test scores and driving record. Report nº 68-27. Los Angeles: University of California, Department of Engineering. Citado en: Comité on Vision of the National research Council (1985) *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press.
- Campbell, F.W., Maffei, L. (1981). The influence of special frequency and contrast on the perception of moving patterns. *Vision Research*, 21(5), 713-721.
- Cash, J.(1996). *The relationship of dynamic visual acuity to skill on a tennis related task*. Dissertation. Chapell Hill: University of North Carolina.
- Coffey, B., Reichow, A.W. (1990). Optometric evaluation of the elite athlete. *Problems in Optometry*, 2, 33-58.
- Comitee on Vision of the National Research Council. (1985). *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press.
- Fergenson, P.E. y Suzansky, J.W. (1973). An investigation of dynamic and static visual acuity. *Perception*, 2(3), 343-56.

- Gessell, A., Igs, F.L., Bullis, G.E. et al. (1950). *Vision: Its Development in Infant and Child*. New York: Paul B. Hoeber.
- Hoffman, L.G., Rouse, M., Ryan, J.B. (1981). Dynamic Visual acuity: A review. *Journal of the American Optometric Association*, 52, 883-87.
- Klavora, P.; Gaskovski, P.; Forsyth, M. (1995). Test-retest reliability of three Dynavision tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 80, 607-610.
- Long, G.M., Garvey, P.M. (1988). The effects of target borders on dynamic visual acuity: Practical and theoretical implications. *Perception*, 17, 745-52.
- Long, G.M., Penn, D.L. (1987). Dynamic Visual acuity: Normative functions and practical implications. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 25, 253-256.
- Long, G.M., Riggs, C.A. (1991). Training effects on dynamic visual acuity with free-head viewing. *Perception*, 20, 363-371.
- Long, G.M., Rourke, D.A. (1989). Training effects on the resolution of moving targets-dynamic visual acuity. *Human factors*, 31, 443-451.
- Long, G.M., Vogel, Ch.A. (1998). Predicting the “where” and resolving the “what” of a moving target: A dichotomy of abilities. *Perception*, 27(4), 379-91.
- Long, G.M., Zavod, M.J. (2002). Contrast sensitivity in a dynamic environment: Effects of target conditions and visual impairment. *Human Factors*, 1(44), 120-131.
- Ludvigh, E. (1949). Visual acuity while one is viewing a moving object. *Archives of Ophthalmology*, 42, 14-22.
- Ludvigh, E., Miller, J.W. (1958). Study of visual acuity during the ocular pursuit of moving test objects I. Introduction. *Journal of the Optical Society of America*, 48, 799-802.
- Mayyasi, A.M., Beals, R.P., Templeton, A.E., Hale, P.N. (1971). The effects of ambient illumination and contrast on dynamic visual acuity. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 48(10), 844-48.
- Michelson, A.A. (1927). *Studies in Optica*. Chicago: University of Chicago Press.
- Miller, J.W. (1958). Study of visual acuity during the ocular pursuit of moving test objects. II: Effects of direction of movement, relative movement and illumination. *Journal of the Optical Society of America*, 48 (11), 803-8.
- Morrison, T.R. (1980). *A review of dynamic visual acuity*. NAMRL Monograph-28. Pensacola, FL: Naval Aerospace Medical Research Laboratory.
- Palomar, F.J. (1991). Anillo-Disco Palomar: Optotipo Universal para determinar la agudeza visual. *Ver y Oír*, 61, 29-35.
- Pomerance GN and Evans DW. (1994). Test-retest reliability of the CSV1000 contrast test and its relationship to glaucoma therapy. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 35, 3357-3361.
- Prestrude, A.M. (1987). Dynamic Visual acuity in the selection of the aviator. En: R, Jensen (Ed) *Proceedings of the Fourth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, OH: Ohio State University Press.
- Quevedo, Ll., Aznar-Casanova, J.A. (2005). Agudeza visual estática versus agudeza visual dinámica. Dos vías visuales diferenciadas. *Ver y Oír*, 22 (194), 150-158.
- Viñas Boada, A. (1988). *Sensibilidad al contraste*. Instrumentos de Oftalmología. Barcelona: General Optica.
- Weissman, S., Freeburne, C.M. (1965). Relationship between static and dynamic visual acuity. *Journal of Experimental Psychology*, 70, 141-146.