
PROCESO DE VALIDACIÓN DEL TEST

DE ACERCAMIENTO PROGRESIVO

BAJO CUATRO CONDICIONES DE ILUMINACIÓN AMBIENTE

Sillero, Manuel

E_mail: msillero@inef.upm.es

INEF Madrid

Bennett, Simon

Manchester Metropolitan University

RESUMEN

En el trabajo se expone el proceso de validación de un nuevo test de campo para valorar la Agudeza Visual bajo cuatro condiciones de iluminación ambiente (Pobre, Intermedia, Alta y Luz Natural).

En el Test de Acercamiento Progresivo (TAP), una tarjeta con una “E” de Snellen se aproxima al sujeto hasta que sea resuelta la dirección hacia donde apuntan las barras de la “E”. A partir de la distancia en metros, se determina el Coeficiente de Snellen correspondiente a la Agudeza Visual del sujeto.

Se comprueba que la iluminación ambiente es un factor que influye significativamente en el registro de la Agudeza Visual, por lo que debe ser tenido en cuenta en los estudios donde la calidad de la información visual sea importante.

Por su sencillez y validez, el TAP se propone como un instrumento útil para detección de problemas de visión en larga distancia, que posteriormente se derivarían a un profesional de la visión, y para determinar la Agudeza Visual de muestras de investigación.

PALABRAS CLAVE

Test de Agudeza Visual, Visión Deportiva, Iluminación Ambiente.

1 INTRODUCCIÓN

La Agudeza Visual (AV) se suele evaluar en condiciones clínicas con optotipos proyectados que requieren unas condiciones de iluminación muy pobre para incrementar el contraste de la pantalla. Sin embargo, en trabajos de investigación y campañas de evaluación de la salud ocular, se suelen utilizar tarjetas de AV, de las cuales los modelos LogMar y Snellen son los más extendidos. En estos casos, la iluminación ambiente debe ser alta y determina la luminancia del test, pues el fondo blanco de la tarjeta refleja el 80% de la luz y las letras o símbolos negros únicamente el 5% (Sheedy y col., 1984).

Bajo niveles de iluminación mesópicas altos y fotópicas moderadas, los cambios en la iluminación ambiente están relacionados con cambios significativos de la AV del sujeto (Hecht y Mintz, 1939; Newman, 1975).

En proyectos de investigación y campañas de evaluación de la salud ocular se requieren test sencillos de aplicar, con probada validez, fiabilidad y objetividad, bajo distintas condiciones de iluminación. Con esta idea, se desarrolló el Test de Acercamiento Progresivo (TAP) (Sillero, 1999) sobre la base de los trabajos del Dr. Jurin en el Siglo XVII (Michaels, 1985) y una práctica ideada para divulgar el concepto de AV (Gregg, 1966).

El objetivo de este trabajo era doble: Primero, probar la validez, fiabilidad y objetividad del TAP como test para evaluar la AV en visión lejana y, segundo, determinar la incidencia del nivel de iluminación ambiente en dos test “no-proyectados”. Ambos test, tarjeta LogMar y TAP, fueron utilizados bajo cuatro condiciones de iluminación diferentes dentro del rango mesópico alto y fotópico (Newman, 1975; Millodot, 1997), siendo una de ellas “luz natural” debido a la gran cantidad de deportes que se practican al aire libre.

2 EXPERIMENTO 1: PROCESO DE VALIDACIÓN BAJO CUATRO CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DIFERENTES.

2.1 Material y metodos

Se midió la AV de 14 estudiantes voluntarios (4 mujeres y 10 hombres) de la Manchester Metropolitan University, con edades comprendidas entre 19 y 37 años ($M = 23,5$; $D.T = 4,7$). Se les solicitó quitarse su sistema de corrección habitual para realizar de manera más sencilla las pruebas monoculares y tener un rango más amplio de medidas. Tras ser informados de manera verbal y por escrito sobre los propósitos y los protocolos de los test, firmaron su consentimiento para participar en el experimento y usar sus datos con fines de investigación y publicación.

En primer lugar, los sujetos fueron evaluados a través de una tarjeta de AV (Bailey-Lovie Distance Acuity Test, Berkeley, CA). Se les pidió que reconocieran filas de letras correspondientes a diferentes Agudezas Visuales a una distancia de 6 metros. Se registró el coeficiente de AV de Snellen correspondiente a la última fila de letras reconocidas de manera completa y, además, el número de caracteres correctos de la línea inferior.

Inmediatamente después, los sujetos fueron evaluados a través del TAP (Sillero, 1999) en el que debían resolver los bordes de una “E” de Snellen de color negro, colocada en el centro de una tarjeta de fondo blanco de 10 x 10 cm. El tamaño de la “E” correspondía con una AV de 20/20 a 6 metros. Una reproducción de la “E” a tamaño real y sus dimensiones se pueden ver en la Figura 1.

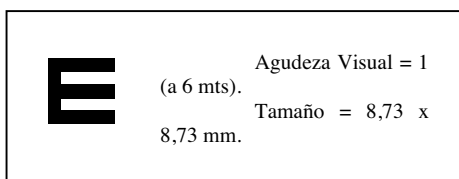


Figura 1.- Tamaño real de la “E” de Snellen 20/20.

Se sentó al sujeto en el origen de una cinta métrica. El investigador acercó la tarjeta desde una distancia de 14 metros, de manera perpendicular al eje de mirada del sujeto y con una cadencia de un paso corto por minuto (0,5 m/s). El sujeto decía “Stop” cuando creía saber la dirección donde apuntaban las barras de la “E” (izquierda, derecha arriba o abajo). Entonces, el investigador se detenía, comprobaba la respuesta, y anotaba la distancia desde los ojos del sujeto a la proyección vertical de la tarjeta sobre el suelo con una precisión de décimas de metro ($EE = 0,05$ mts).

Se realizaron tomas de la AV con ambos test, bajo condiciones monoculares (derecha e izquierda) y binocular con tres condiciones de luz artificial fijas: Pobre (Media = 56 lux; DE = 11 lux), Intermedia (Media = 748 lux; DE = 98 lux) y Alta (Media = 2.261 lux; DE = 480 lux). Estas condiciones de iluminación fueron seleccionadas teniendo como referencia los rangos de iluminación recomendados para instalaciones deportivas modestas (entre 30 y 2000 lux) y para retransmisiones deportivas (entre 3.000 y 800 lux) (Loran, 1997; Gandolfo, 1980). Además, también se realizaron tomas de ambos test bajo condiciones naturales variables entre 17.500 lux y 88.000 lux (Media = 45.933 lux; DT = 31.884).

Se realizaron tres medidas aleatorias del TAP; sin embargo, para tener en cuenta los efectos del astigmatismo, se seleccionó al menos una posición vertical (arriba o abajo) y otra horizontal (derecha e izquierda) de la “E”. En caso de error en la respuesta del sujeto, el investigador retrocedía y comenzaba de nuevo el proceso.

2.2 Análisis de los datos

Se hizo uso de la distribución homogénea de la Tarjeta LogMar (con cinco letras por fila) para hacer menos discreta la evaluación de la AV (Eskridge y col., 1991). Cada letra acertada se valoró como un quinto del intervalo de AV entre filas contiguas y se añadió este valor a la fila que el sujeto había reconocido completamente.

Siguiendo el proceso descrito por Gregg (1966), se transformaron los valores de distancia en coeficientes de AV dividiendo la distancia en metros por seis.

Para probar la validez del TAP, se realizó una comparación entre los resultados de AV de ambos test con dos procedimientos estadísticos distintos: El coeficiente producto-momento de Pearson y el grado de congruencia (Brand, 1995). Los valores en cada condición ocular (monocular derecha, izquierda y binocular) fueron considerados como mediciones independientes y comparados con los resultados del otro test.

Para estudiar el efecto del nivel de iluminación, los datos fueron enviados a un ANOVA de 2 (Test; Tarjeta LogMar y TAP) x 3 (Visión; monocular izquierda, derecha y binocular) x 4 (Nivel de Iluminación; Pobre, intermedia, alta y natural) con mediciones repetidas para los tres factores.

2.3 Resultados

Los coeficientes producto-momento de Pearson indicaron altos niveles de correlación entre la tarjeta LogMar y el TAP para cada nivel de iluminación: Pobre ($r = 0,912$; $p < 0,05$); Intermedia ($r = 0,930$; $p < 0,05$); Alta ($r = 0,945$; $p < 0,05$); y Natural ($r = 0,929$; $p < 0,05$). Además, se encontró un alto grado de congruencia entre los resultados de ambas técnicas (Figuras

2 a 5). Las correlaciones entre medias y diferencias de las medias de los resultados en ambos test fueron moderadas pero significativas para cada uno de los niveles de iluminación: Pobre

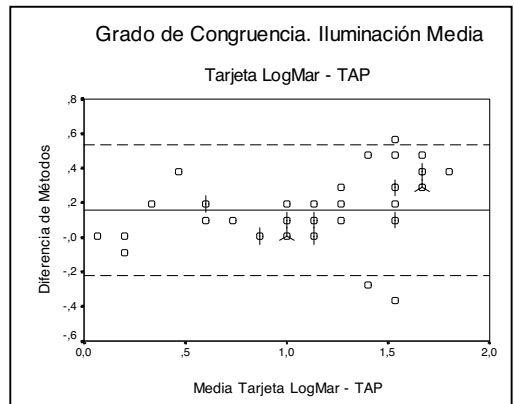
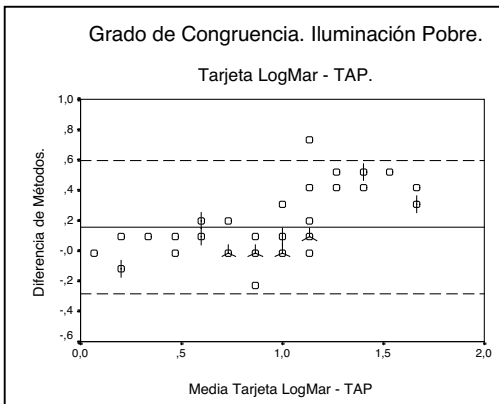
($r = 0,638$; $p < 0,05$); Intermedia ($r = 0,394$; $p < 0,05$); Alta ($r = 0,394$; $p < 0,05$); y Natural ($r = 0,459$; $p < 0,05$).

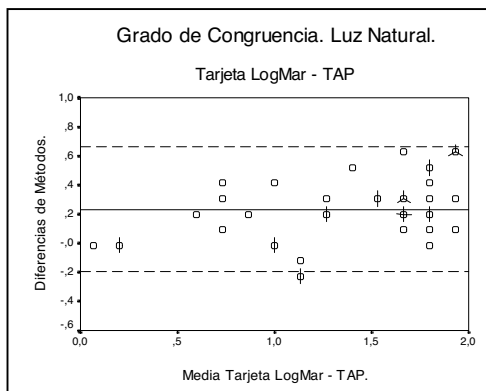
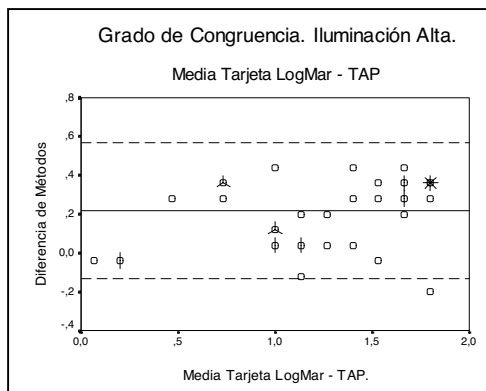
El ANOVA reveló efectos significativos del nivel de iluminación, $F(3,39) = 48,84$ ($p < 0,05$); del test utilizado, $F(1,13) = 20,45$ ($p < 0,05$); y la condición visual, $F(2,26) = 4,037$ ($p < 0,05$) en los resultados de la AV. Los resultados del test *post hoc* Tukey HSD mostraron que la AV era mayor bajo condiciones binoculares que bajo condiciones monoculares. Además, la AV más baja correspondía al nivel de iluminación pobre, y también eran inferiores los resultados bajo niveles intermedios de iluminación comparados con los de niveles de iluminación altos y naturales. Finalmente, la AV era siempre más elevada cuando se evaluaba con el TAP que con la tarjeta LogMar.

Los análisis de regresión lineal mostraron que, aunque las relaciones entre ambos test eran altas y directas, los resultados obtenidos con el TAP eran siempre mayores que los de la tarjeta LogMar. En la Tabla 1, se resumen las equivalencias entre distancias en el TAP, Coeficientes TAP y Coeficientes de AV de Snellen. Las ecuaciones para determinar las equivalencias entre distancias TAP y Coeficientes de AV de Snellen se pueden ver debajo.

2.4 Discusión

Tanto las técnicas de correlación como del grado de congruencia muestran una relación directa alta entre las mediciones de AV. Sin embargo, la regresión lineal y el ANOVA muestran que los valores son siempre elevados más en el TAP. Esta diferencia se puede justificar por razones conceptuales y metodológicas.





Figuras 2, 3, 4 y 5.- Gráficos sobre el Grado de Congruencia entre métodos para las distintas condiciones de iluminación.

Dist (m)	Coef. TAP	Coef. de Snellen.			
		Pobre	Int.	Alta	Nat.
1,00	0,17	0,07	0,10	0,05	0,08
2,00	0,33	0,20	0,25	0,20	0,23
2,50	0,42	0,27	0,33	0,28	0,30
3,00	0,50	0,33	0,40	0,36	0,38
3,50	0,58	0,40	0,48	0,43	0,45
4,00	0,67	0,46	0,56	0,51	0,53
4,50	0,75	0,53	0,64	0,59	0,60
5,00	0,83	0,60	0,71	0,66	0,67
5,50	0,92	0,66	0,79	0,74	0,75
6,00	1,00	0,73	0,87	0,82	0,82
6,50	1,08	0,79	0,94	0,90	0,90
7,00	1,17	0,86	1,02	0,97	0,97

Dist (m)	Coef. TAP	Coef. de Snellen (Cont)			
		Pobre	Int.	Alta	Nat.
7,50	1,25	0,92	1,10	1,05	1,05
8,00	1,33	0,99	1,18	1,13	1,12
8,50	1,42	1,05	1,25	1,20	1,20
9,00	1,50	1,12	1,33	1,28	1,27
9,50	1,58	1,19	1,41	1,36	1,34
10,00	1,67	1,25	1,48	1,44	1,42
10,50	1,75	1,32	1,56	1,51	1,49
11,00	1,83	1,38	1,64	1,59	1,57
11,50	1,92	1,45	1,72	1,67	1,64
12,00	2,00	1,51	1,79	1,74	1,72
12,50	2,08	1,58	1,87	1,82	1,79
13,00	2,17	1,65	1,95	1,90	1,86

Tabla 1.- Equivalencias entre distancias en el TAP, Coef. TAP y Coef. de AV de Snellen.

Regresión Lineal Iluminación Pobre	$A.V_{TAP} = 1,27 A.V_{LogMar} + 0,077$	(1)
Regresión Lineal Iluminación Intermedia	$A.V_{TAP} = 1,08 A.V_{LogMar} + 0,064$	(2)
Regresión Lineal Iluminación Alta	$A.V_{TAP} = 1,08 A.V_{LogMar} + 0,116$	(3)
Regresión Lineal Iluminación Natural	$A.V_{TAP} = 1,12 A.V_{LogMar} + 0,078$	(4)

Hay algunos aspectos metodológicos que también podrían justificar la “sobrestimación” de los resultados del TAP. Por ejemplo, el número de opciones era sólo de 4; por lo tanto, en algunas ocasiones, el sujeto podría haber optado antes de resolver el objetivo con propiedad. Algunas pruebas para niños y analfabetos tienen similares características al TAP (Grosvenor, 1982) y son consideradas como métodos válidos. Se debe apuntar aquí que el protocolo fue

siempre que, si el sujeto se equivocaba, se modificaba la situación de la tarjeta, y se volvía a comenzar. El segundo problema metodológico podría aparecer cuando se evalúan sujetos con astigmatismo. Este punto será discutido en el segundo experimento.

Por otro lado, el TAP tiene algunas bondades como son la simplicidad en su ejecución y la imposibilidad de memorizar el test. Esto es algo importante, sobre todo en situaciones de investigación en las que el sujeto debe ser evaluado varias veces consecutivas bajo condiciones monoculares y binoculares. Las diferencias entre mediciones no son un inconveniente si la congruencia y la correlación entre los valores es buena. Se pueden aplicar ecuaciones de regresión (Fórmulas 1 a 4) y tablas (ver Tabla 1) para obtener equivalentes de Coeficientes de Snellen a partir de las distancias del TAP.

El origen de diferencias significativas entre los datos de AV bajo condiciones de iluminación Pobre, Intermedia y Alta puede estar en los cambios de tamaño pupilar originados por la variación de la iluminación ambiente y, consecuentemente, la modificación en la profundidad de foco, la cantidad de luz que llega a la retina y el tamaño de los círculos de dispersión en la imagen (Michaels, 1985). La ausencia de diferencias significativas entre condiciones de iluminación altas y naturales (2260 y 45933 lux) indica que el TAP podría ser utilizado al aire libre aunque las condiciones no fueran muy estables debido a factores como las nubes, la altitud o la hora del día. Hay que tener en cuenta que intensidades de luz muy altas podrían afectar a la AV debido al deslumbramiento (Loran, 1997).

3 EXPERIMENTO 2: PRUEBA DE LA FIABILIDAD Y OBJETIVIDAD DEL TAP.

3.1 Material y métodos

La muestra estaba compuesta por 14 sujetos voluntarios (9 mujeres y 5 hombres) de la Manchester Metropolitan University con edades comprendidas entre los 18 y 28 años ($M = 22,4$; $DT = 3,1$). Como en el experimento 1, el sistema de corrección habitual fue retirado para facilitar la evaluación monocular y proporcionar un mayor rango en las mediciones. Después de ser informados verbalmente y por escrito sobre el propósito y los protocolos de los test, firmaron su consentimiento para participar en la sesión experimental y usar sus datos con fines de investigación y publicación.

La tarjeta LogMar y la “E” de Snellen fueron las mismas utilizadas en el experimento 1. El protocolo para llevar a cabo el TAP fue idéntico al utilizado en el experimento 1.

Para probar la fiabilidad del TAP, la misma muestra fue evaluada en el mismo día por dos experimentadores diferentes (Thomas y Nelson, 1996) bajo condición monocular derecha, izquierda y binocular. Después de tres intentos de práctica bajo condiciones binoculares, el sujeto fue testado por el primer experimentador, primero con el ojo derecho, luego el ojo izquierdo y, finalmente, bajo condiciones binoculares. Se realizaron tres tomas en cada condición. Inmediatamente después, el segundo experimentador entraba en la habitación y evaluaba de nuevo al sujeto con el mismo protocolo. Para probar la objetividad del test, el mismo sujeto fue evaluado por tercera vez por el primer investigador.

Las condiciones de iluminación en todos los intentos fueron fotópicas bajas ($M = 2261$ lux; $DT = 480$ lux). Se utilizaron proyectores de pie para proporcionar luz horizontal que evitara las sombras a lo largo de la trayectoria del objetivo.

3.2 Análisis de los datos

Los datos del test y re-test del primer investigador fueron enviados a un análisis de fiabilidad que realizó un ANOVA entre las dos mediciones además de una correlación intra-clase de mediciones individuales y una correlación intra-clase de las medias de las medidas. El mismo análisis de fiabilidad se llevó a cabo con los datos del primer investigador y el segundo (Objetividad 1) y con los del segundo investigador y el re-test del primer investigador (Objetividad 2).

Para proporcionar información adicional sobre la consistencia entre las distintas tomas se calculó el coeficiente producto-momento de Pearson para las medias de los resultados del test y re-test del primer investigador (Fiabilidad), test del primer y segundo investigador (Objetividad 1) y test del segundo investigador y re-test del primer investigador (Objetividad 2).

3.3 Resultados

Las medias de los resultados del ojo derecho, ojo izquierdo y binocular de ambos investigadores se pueden ver en la Figura 6. Los resultados en condiciones binoculares son siempre mejores que en condiciones monoculares. Además, los resultados binoculares entre investigadores son bastante homogéneos pero se perciben leves diferencias (no significativas) entre la primera medición del ojo derecho e izquierdo y el resto de las mediciones.

Los datos del análisis de fiabilidad muestran que no hay diferencias significativas entre las mediciones en cada una de las condiciones oculares. Los datos más débiles corresponden a la condición monocular izquierda entre los resultados del primer y el segundo investigador ($F = 2,18$; $p > 0,05$) y el segundo investigador y el re-test del primer investigador ($F = 2,17$; $p > 0,05$). El resto de valores se encuentran dentro del rango de $F = 1,69$ ($p = 0,15$), entre el test y el re-test del primer investigador para el ojo derecho, y $F = 0,36$ ($p = 0,87$), entre el segundo investigador y el re-test del primero. Tanto los coeficientes de correlación intra-clase para mediciones individuales como los intra-clase para las medias son muy elevados encontrándose entre $r = 0,92$ y $r = 0,99$ ($p < 0,05$) en todos los casos.

Los coeficientes producto-momento de Pearson entre medias de las tres tomas de cada investigador muestran valores muy elevados, todos ellos incluidos entre $r = 0,937$ y $r = 0,987$ con una significación $p < 0,05$.

3.4 Discusión

Los diferentes análisis de fiabilidad llevan a resultados positivos que apoyan la fiabilidad y objetividad del TAP. Además, los altos coeficientes de correlación intra-clase indican una elevada consistencia entre los resultados de los distintos intentos. Para entender esta elevada consistencia, se debe tener en cuenta que un error de ± 1 metro en la distancia registrada equivale sólo a $\pm 0,16$ en el coeficiente del TAP, lo cual no constituye un error importante después de hacer la media entre los tres intentos.

Hay que hacer referencia, sin embargo, a las leves diferencias (no significativas) entre los resultados monoculares del primer investigador y los del segundo, que no se repiten entre los del segundo investigador y el re-test. Aunque podrían deberse a un proceso de aprendizaje o a una práctica insuficiente (tres intentos previos a comenzar el test), más bien parecen ser debidas a una

mala interpretación de las instrucciones por parte de algunos sujetos, los cuales esperaban en los primeros intentos hasta ver perfectamente la “E” para parar el avance del investigador. Tras seis o siete intentos, el sujeto se daba cuenta de que no necesitaba ver perfectamente la letra para saber la dirección hacia la que apuntaban las barras de la “E”. Por ello, se recomienda insistir al sujeto en el protocolo que *“no es necesario que vea perfectamente la “E”*”, sino que deberá decir “stop” cuando *“crea saber”* hacia donde apuntan las barras de la “E”.

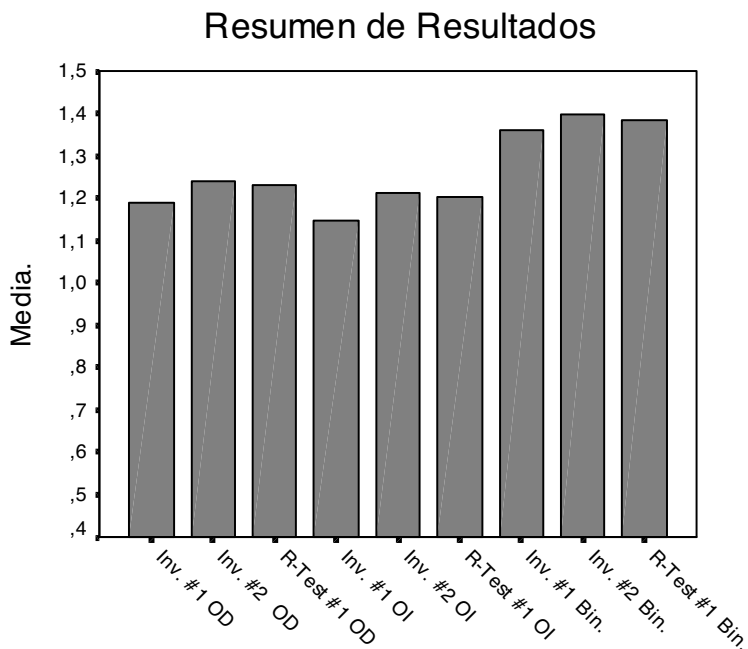


Figura 6.- Resumen de los resultados del test y re-test de las distintas condiciones visuales.

Una de las sospechas durante el diseño del test fue la incidencia del astigmatismo del sujeto en la fiabilidad de los resultados, puesto que la calidad de la imagen retineana de los astigmatas depende de la orientación del objeto. Para compensar este efecto se forzó que al menos una posición de las tres elegidas fuera horizontal y otra vertical. Las elevadas correlaciones intra-grupo apuntan una débil incidencia del astigmatismo en los resultados.

Se podría pensar que el movimiento del objeto podría afectar a la medición de la AV. Sin embargo, se necesitan velocidades angulares mayores a $40^\circ/\text{seg}$ para producir cambios en la AV (Newman, 1975). El desplazamiento angular en el TAP se debe considerar nulo pues el movimiento del objetivo sigue el eje de mirada del sujeto y el desplazamiento lineal es tan lento ($0,5 \text{ m/seg}$) que los movimientos de acomodación y vergencias no parece que puedan tener incidencia en la medición.

4 CONCLUSIONES

Los resultados de los dos experimentos indican que el TAP puede ser considerado un método válido, fiable y objetivo para medir la AV, especialmente cuando se quiere considerar el componente de resolución, dejando a parte los aspectos cognitivos de la misma. El TAP se muestra especialmente útil para la detección de problemas oculares en visión lejana en muestras de investigaciones y en grupos de alumnos y deportistas. El test permite valorar de una forma rápida y barata la AV bajo diferentes condiciones de iluminación ambiente, un factor que influye significativamente en la AV.

Debe quedar claro en las instrucciones del TAP que el sujeto no necesita ver perfectamente el objetivo para contestar la dirección hacia donde apuntan las barras de la "E".

Para finalizar, aunque el astigmatismo no parece incidir en la fiabilidad de los resultados, deberían ser llevadas a cabo más investigaciones para cuantificar la sensibilidad del test frente al astigmatismo.

5 AGRADECIMIENTOS

La parte experimental de este trabajo ha sido llevada a cabo mientras uno de los co-autores estaba disfrutando de una beca de Postgrado del Programa Sócrates de la UE, siendo asignado al Departamento de Control Motor de la Manchester Metropolitan University. La tarjeta LogMar utilizada fué cedida por el Departamento de Visión Deportiva de la Escuela de Optometría de la UMIST (Manchester), donde es profesor Don Loran.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Brand M. (1995) An introduction to Medical Statistics (2nd Edition). Oxford. Oxford University Press.
- Eskridge JB, Amos JF, Barlett JD. (1991) Clinical procedures in optometry. Philadelphia. Lippincott Company.
- Gandolfo AJ. (1980) Iluminación de acontecimientos deportivos. Madrid. Philips Ibérica.
- Gregg JR. (1966) Experiments in visual science for home and school. New York. The Ronald Press Company.
- Grosvenor TP. (1982) Primary care optometry. A clinical Manual. Chicago. The Professional Press.
- Hecht S, Mintz EU. (1939) "The visibility of single lines at various illuminations and the retinal basis of visual resolution" Journal of General Physiology 22: 593-612.
- Loran DFC, MacEwen CJ. (1997) Sports Vision. Oxford. Butterworth-Heinemann.
- Michaels DD. (1985) Visual optics and refraction: A clinical approach. (3rd Edición). Saint Louis. CV Mosby Company.
- Millodot M. (1997) Dictionary of Optometry and Visual Science (4th Edition). Oxford. Butterworth-Heinemann.

- Newman M. (1975) "Visual Acuity". En: Moses RA. Adler's Physiology of the Eye. Saint Louis. CV Mosby Company.
- Sheedy JE, Bailey IL, Raasch TW. (1984) "Visual acuity and chart luminance". American Journal of Optometry and Physiological Optics 64(9): 595-600.
- Sillero M. (1999) "Comparación de técnicas para evaluación de la Agudeza Visual y los extremos del campo visual horizontal". Archivos Optométricos. 2(2): 86-96.
- Thomas JR, Nelson JK. (1996) Research Methods in Physical Activity. (3rd Edition).Champaign, Illinois. Human Kinetics.