

Efectos del ejercicio en la fisiología ocular

MANUEL SILLERO QUINTANA*

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (INEF de Madrid)

Correspondencia con autor

* manuel.sillero@upm.es

Resumen

Toda actividad física extrema implica variaciones de los parámetros fisiológicos del deportista. Este artículo hace un repaso de los cambios sistémicos que se producen en el organismo durante la práctica deportiva y que, desde un punto de vista racional, podrían influir en el funcionamiento del sistema visual como son los cambios en el sistema cardiovascular, respiratorio, o neuro-endocrino. Posteriormente, y basándose en una revisión bibliográfica, realiza un análisis de la influencia directa de la práctica de actividad física sobre el sistema visual, tanto en las habilidades visuales (agudeza visual o acomodación, por ejemplo), como en parámetros anatómicos y fisiológicos como el ángulo irido-corneal, los diámetros pupilares, la presión intraocular, el flujo coroidal, la perfusión ocular o el diámetro de los vasos sanguíneos oculares. El artículo finaliza apuntando algunas líneas de investigación de interés dentro del ámbito de la fisiología ocular durante la práctica de actividad física, y algunas sugerencias para los investigadores que trabajen en el área de la visión deportiva.

Palabras clave

Visión deportiva, Fisiología ocular, Efectos del ejercicio.

Abstract

Effects of exercise on ocular physiology

Every extreme physical activity implies variations in the athlete's physiological parameters. This article reviews the systemic changes produced in the body during the sport practice that could have a certain incidence, from a rational point of view, on the visual system function, as changes in the cardiovascular, respiratory, or neuro-endocrine systems. Afterwards, based on a bibliographic review, an analysis of the direct relationship of the physical activity practice on the visual system will be performed. This analysis will be focused both on visual abilities changes (i.e. visual acuity or accommodation) and on anatomical and physiological parameters as irido-corneal angle, pupil diameters, intraocular pressure, choroidal blood flow, ocular perfusion, or ocular vessels diameter. The work ends by pointing out some interesting research lines in the field of ocular physiology during physical activity practice, and some suggestions for researches that work on the sports vision area.

Key words

Sports vision, Ocular physiology, Exercise effects.

Introducción

Desde el punto de vista fisiológico, la práctica deportiva altera el equilibrio de la mayor parte de los sistemas y órganos del individuo. Sólo algunos de estos cambios afectan directamente a la visión, pero otros lo pueden hacer indirectamente; sin embargo, merece la pena tenerlos en cuenta, pues, sumados a otros factores, pueden repercutir negativamente en la visión del deportista.

Me gustaría apuntar que, desde mi punto de vista, el hecho de practicar una actividad física los fines de semana no es hacer deporte: es simplemente jugar: “entretenerse, divertirse tomando parte en uno de los juegos sometidos a reglas, medie o no en él interés” (RALE, 2001). La práctica deportiva implica un entrenamiento con el fin de conseguir un objetivo físico (un trofeo o

una cantidad económica) o una meta personal. Esto obliga a que las cargas e intensidades de entrenamiento se incrementen de manera proporcional a la importancia o dificultad de la meta a lograr. Por lo tanto, las adaptaciones y efectos que genera la práctica de actividad lúdica esporádica y de intensidad moderada sobre el organismo son diferentes e inferiores a las originadas por la práctica de una actividad deportiva regular y extenuante.

Cambios agudos en el organismo durante la práctica del ejercicio

Se han descrito gran variedad de efectos agudos del ejercicio sobre el organismo (Wilmore y Costill, 1999). Comenzaremos resumiendo algunos de los más importan-

tes para que nos ayuden a entender mejor los efectos directos del ejercicio sobre la fisiología ocular. Según vayan apareciendo puntos interesantes se irán planteando cuestiones que podrían afectar al funcionamiento del sistema visual durante la práctica del ejercicio. Algunos de estos aspectos serán contestados en el siguiente punto del artículo.

Efectos del ejercicio sobre el sistema cardiovascular

La práctica del ejercicio conlleva un incremento de la frecuencia cardíaca, así como del gasto cardíaco y genera una redistribución del flujo sanguíneo. Por otra parte, el caudal sanguíneo periférico aumenta, sobre todo a nivel muscular, por lo que no hay suficiente caudal de retorno al corazón. Esto origina que la frecuencia cardíaca máxima no se adquiera con la máxima intensidad de ejercicio. Aquí se plantean las primeras dudas: ¿se ve el ojo afectado con la redistribución del flujo sanguíneo?, ¿existe una variación del caudal de sangre que llega al ojo durante la práctica del ejercicio?

La presión arterial sistólica aumenta según se incrementa la intensidad del ejercicio, mientras que la diastólica se mantiene, e incluso en algunos casos disminuye levemente. Hay que tener en cuenta que la práctica de ejercicios isométricos supone un bloqueo del flujo sanguíneo a nivel de los capilares. Lo mismo puede ocurrir en actividades que se realicen en apnea. En estas situaciones, el funcionamiento del sistema cardiovascular puede estar condicionado debido a una disminución brusca del retorno venoso, que puede alterar la respuesta ventricular normal, y a un gran incremento de la presión sistólica. En este aspecto, las repercusiones que podría tener la modificación aguda de la presión intraocular son transcendentales, debido a que podrían derivar en desprendimientos de retina que afectaran de manera irreversible al ojo.

Respecto a la sangre, el ejercicio genera un aumento de la diferencia artero-venosa de oxígeno en sangre, debido al incremento del consumo de oxígeno por parte de los músculos y la hemoconcentración, sobre todo si se produce una sudoración excesiva. ¿Afectan estas modificaciones a la fisiología ocular?

Efectos del ejercicio sobre el sistema respiratorio

La práctica de ejercicio físico origina un incremento de la ventilación. En este punto hay que apuntar algunos

detalles interesantes: En algunos deportes (ej.: halterofilia) la glotis se cierra durante la ejecución del esfuerzo, impidiendo la entrada de aire en los pulmones y originando una fuerte tensión de la pared abdominal, el diafragma y los músculos de la caja torácica (Maniobra de Valsalva), que genera, a su vez, una gran presión intrapulmonar que puede tener efectos negativos.

El aumento de actividad muscular aumenta el consumo de oxígeno, por lo que la perfusión de O₂ en los alvéolos pulmonares se debe incrementar para suplir las necesidades de los músculos (disnea), por otro lado, además aumenta la presión parcial de CO₂ en el interior de los vasos, por lo que tiene que ser liberado a través de los pulmones (hiperventilación).

Una nueva pregunta se genera en este punto: ¿afecta la variación de presión parcial de O₂ y CO₂ en sangre el funcionamiento del ojo?

Efectos sobre el sistema neuroendocrino

La mayor parte de los deportes precisan de la activación del sistema nervioso simpático para activar muchas funciones orgánicas; por ejemplo, en el corazón, el sistema simpático incrementa la frecuencia cardíaca y la fuerza contráctil del ventrículo. La activación del Sistema Simpático también ayuda a incrementar los niveles de fuerza, la secreción de hormonas, etc.; sin embargo, produce una inhibición del sistema parasimpático. Por otro lado, en deportes de precisión se requiere una concentración y relajación que se consigue mediante la activación del sistema parasimpático o la inhibición del simpático; en estos deportes se produce una gran fatiga neural.

En la *tabla 1* (p. 38) se pueden ver algunos efectos de la activación del sistema nervioso (SNV) simpático y el parasimpático sobre el organismo.

El ejercicio físico produce una gran cantidad de cambios hormonales; algunos de ellos se pueden ver resumidos en la *tabla 2* (p. 39).

Durante el ejercicio, el número de órdenes enviadas desde el sistema nervioso central (SNC) aumenta muy significativamente. Esto podría llevar a un incremento del umbral de excitación de la membrana, por lo que la intensidad de los estímulos eferentes debería ser mayor para que se produjera su efecto, y también generaría una fatiga neural, debido, posiblemente, al “agotamiento” de neurotransmisores, como la acetilcolina, que vería disminuida su liberación y síntesis en la placa motora durante el ejercicio extenuante.

	Efectos del SNV simpático	Efectos del SNV parasimpático
Músculo cardíaco	↑ el ritmo y la fuerza de contracción	↓ el ritmo de contracción
Vasos coronarios	Vasodilatación	Produce vasoconstricción
Pulmones	Broncodilatación Contrae levemente los vasos sanguíneos	Produce broncoconstricción
Vasos sanguíneos	↑ la presión arterial Vasoconstricción vísceras y piel. Vasodilatación en los músculos esqueléticos y corazón durante el ejercicio	Poco o ningún efecto
Hígado	↑ la liberación de glucosa	Ningún efecto
Metabolismo celular	↑ el ritmo metabólico	Ningún efecto
Tejido adiposo	↑ la lipólisis	Ningún efecto
Glándulas sudoríparas	↑ la sudoración	Ningún efecto
Medula adrenal	↑ la secreción de adrenalina y noradrenalina	Ningún efecto
Aparato digestivo	↓ la actividad de las glándulas y de los músculos; contraer los esfínteres	↑ la peristalsis y la secreción glandular. Relaja los esfínteres
Riñones	Vasoconstricción ↓ la formación de orina	Ningún efecto

Tabla 1

Efectos del sistema nervioso simpático y parasimpático sobre varias estructuras, órganos y sistemas (Adaptado de Wilmore y Costill, 1999).

Otros efectos del ejercicio físico

La práctica de actividad física intensa sobre el organismo produce muchos más efectos sobre diferentes sistemas y órganos. Entre otros, podemos destacar los siguientes:

- Incremento de la temperatura corporal.
- Se produce, de manera fisiológica, una inflamación aguda durante el ejercicio que favorece el rendimiento.
- Liberación de productos de desecho (ácido láctico, urea, CO₂...).
- Disminución del pH, debido al ácido láctico y los radicales libres.
- “Sobreesfuerzo” de los sistemas de control del equilibrio (debido al movimiento excesivo).
- Pérdida de electrolitos a través del sudor.
- Aumenta la deshidratación por la respiración y la piel (conducción, convección, radiación y evaporación) y, como contraprestación se disminuye la producción de orina.

Efectos fisiológicos de la práctica deportiva sobre el sistema visual

En la mayoría de las investigaciones de visión deportiva se suele estudiar el efecto de la práctica deportiva en una determinada habilidad o capacidad visual (o un grupo de ellas); sin embargo, siempre hay que tener en cuenta que, de la misma forma que el organismo del sujeto “aprende a adaptarse” a cualquier desequilibrio fisiológico producido por el esfuerzo físico mediante el entrenamiento, su sistema visual también aprende a adaptarse a las situaciones de déficit puntual durante la práctica deportiva para sacarle el mayor rendimiento a las habilidades visuales de las que dispone.

Los efectos fisiológicos de la práctica deportiva sobre el sistema visual estarán ligados a los efectos generales de la práctica deportiva sobre el organismo.

Se ha demostrado que la actividad física no modifica la agudeza visual, la amplitud de acomodación o la profundidad de foco (Woods y Thomson, 1995), que es el rango de distancias en las que los objetos permanecen enfocados sin necesidad de acomodar con el cristalino.

Hormona	Respuesta al ejercicio	Relaciones especiales	Consecuencias probables
Catecolaminas	↑	Mayor ↑ con ejercicio intenso.	↑ la glucosa en sangre
GH (hormona crecimiento)	↑	↑ más en las personas que no están en forma ↓ más deprisa en las personas que están en forma	Desconocidas
Cortisol-HCTH	↑	Mayor ↑ con el ejercicio intenso ↑ menos con entrenamiento submáximo.	Mayor gluconeogénesis en el hígado
Tirosina-TSH	↑	↑ la producción de tiroxina en el entrenamiento (sin efectos)	Desconocidas
LH	Sin cambios	Ninguna	Ninguna
Testosterona	↑	Ninguna	Desconocidas
Estradiol-progesterona	↑	↑ durante la fase luteínica del ciclo	Desconocidas
Insulina	↓	↓ menos después del entrenamiento	↓ el estímulo necesario para utilizar la glucosa de la sangre
Glucagón	↑	↑ menos después del entrenamiento	↑ los niveles de glucosa en sangre por glucogénesis y gluconeogénesis
Renina-angiotensina-aldosterona	↑	Mismo ↑ después del entrenamiento	Retención del sodio para mantener el volumen del plasma
ADH	↑ previsto	Ninguna	Retención de agua para mantener el volumen del plasma
Calcitonina-PTH	Desconocida	Ninguna	Necesaria para un desarrollo apropiado de los huesos
Eritropoyetina	Desconocida	Ninguna	↑ la eritropoyesis
Prostaglandinas	Puede ↑	↑ en contracciones isométricas. Puede necesitar tensión isquémica	Pueden ser vasodilatadores locales

Tabla 2

Resumen de cambios hormonales durante el ejercicio (Adaptado de Wilmore y Costill, 1999).

Tampoco existen cambios en la conjuntiva (Albrechtsen y Norm, 1992) por enrojecimiento o inflamación de la misma; sin embargo, la práctica moderada de deportes aeróbicos como ciclismo y carrera continua mejora la sensibilidad al contraste (Woods y Thomson, 1995).

También se ha comprobado que el ángulo de la cámara anterior del iris aumenta tras 10 minutos de ejercicio físico moderado (Haargaard y cols., 2001, y Jensen y cols., 1995), lo cual podría tenerse en cuenta a la hora de prescribir ejercicio aeróbico a pacientes que poseen una presión intraocular alta, normalmente a causa de un estrechamiento del ángulo irido-corneal que imposibilita el drenaje del humor acuoso de la cámara anterior del ojo.

La práctica de ejercicio tanto de manera habitual como esporádica reduce la amplitud de los potenciales evocados visuales (Ozmerdivenli y cols., 2005), independientemente de factores como la temperatura (Ozkaya y cols., 2003) u otros parámetros fisiológicos que se modifican por la práctica del ejercicio. Las alteraciones vuelven a sus valores normales tras 24 horas de reposo (Ozkaya y cols., *ob. cit.*) y su variación está directamente relacionada con el nivel de práctica del deportista (Ozmerdivenli y cols., *ob. cit.*) Por otro lado, a nivel de retina, se demostró que la práctica de ejercicio generaba variaciones en los registros del electroretinógrafo, aunque no se podía confirmar si eran debidos a una variación del flujo sanguíneo o a otro factor (Kergoat y

Forcier, 1996). En un estudio posterior, Kergoat y Tinjust (2004) demostraron mediante electroretinografía y potenciales oscilatorios que el sistema visual era bastante resistente a las variaciones de CO₂ y O₂, sobre todo en condiciones de iluminación elevada.

Sin embargo, no todos los estudios son concluyentes respecto a los efectos del ejercicio sobre la fisiología ocular. Existen trabajos en los que se ha demostrado que el ejercicio físico no varía el diámetro pupilar (Woods y Thomson, 1995) y en otros, se ha obtenido que el área de la pupila aumenta (Haargaard y cols., 2001; y Jensen y cols., 1995). Esto puede ser debido a que las intensidades y los tipos de esfuerzos requeridos a los sujetos de estos estudios pudieran ser de distinta naturaleza (duración, nivel de dinamismo, intensidad...).

Los resultados de los estudios pueden variar en función del tipo de esfuerzo realizado. Para profundizar más en los efectos fisiológicos de la actividad física hay que diferenciar entre dos grandes tipos de esfuerzos:

- Los esfuerzos isométricos: en este tipo de ejercicios se produce una contracción continua del músculo (normalmente máxima) y sin movimiento articular (posiciones estáticas). En los esfuerzos isométricos se produce un bloqueo del flujo sanguíneo en los capilares periféricos del músculo, hecho que se acrecienta debido a la maniobra de Valsalva (Dickerman y cols., 1999).
- Los esfuerzos “dinámicos”: serían el resto de esfuerzos en los que las fases de contracción muscular se alternan con las de relajación. En ellos no se bloquea el paso de la sangre al huso muscular y se facilita el retorno venoso.

Muchos de estos estudios utilizan las más avanzadas técnicas, como el Doppler, para medir el flujo de sangre en la coroides (Fuchsjagar-Mayrl y cols., 2003; Lovadik y cols., 2003; Michelson y cols., 1994; y Pourmaras y Riva, 2001) o la video-angiografía con fluoresceína (Harris y cols., 1996).

Efectos fisiológicos en esfuerzos isométricos

El valor medio de la presión arterial general aumenta con el ejercicio isométrico (Blum y cols., 2000; Fuchsjagar-Mayrl y cols., 2003; Vieira y cols., 2006; y Wimpissinger, y cols., 1999). Kiss y sus colaboradores (2001) midieron incrementos de presión arterial superiores al 56 % tras un esfuerzo isométrico máximo.

Casi todos los estudios analizados muestran un incremento de la presión intraocular durante la realización de esfuerzos isométricos (Dickerman y cols., 1999; Kiss y cols., 2001; y Movaffaghy y cols., 1998) Sólo en un estudio se mantenía (Wimpissinger y cols., 2003) y en otro disminuía levemente (Avunduk y cols., 1999); sin embargo, en estos dos últimos estudios, no se conoce la intensidad y la duración del ejercicio.

El flujo coroidal también aumenta con la práctica de ejercicios isométricos (Movaffaghy y cols., 1998; Riva y cols., 2001; y Wimpissinger y cols., 1999), aunque para Kiss y cols. (2001) sólo lo hace con esfuerzos isométricos de muy elevada intensidad.

Por lo tanto, aunque el ejercicio isométrico produce una vasoconstricción de hasta un 10 % de las arteriolas oculares (Blum y cols., 2000), la perfusión ocular (volumen de sangre/tiempo) aumenta curiosamente con el ejercicio isométrico (Fuchsjagar-Mayrl y cols., 2003; Movaffaghy y cols., 1998; Polska y cols., 2003; Riva y cols., 1997, y Wimpissinger y cols., 1999)

La concentración en sangre de algunas sustancias como el óxido nítrico y el óxido potásico juegan un papel fundamental para regular el flujo sanguíneo del ojo durante el ejercicio isométrico (Luksch y cols., 2003, y Pourmaras y Riva, 2001); sin embargo, otras como el anhídrido carbónico, más tradicionalmente ligadas al esfuerzo físico, no influyen en caudal del sangre que llega a la coroides (Kiss y cols., 2001).

A la hora de prescribir ejercicio a pacientes diabéticos hay que tener en cuenta que la regulación del flujo ocular durante el ejercicio isométrico suele fallar en estos pacientes debido, probablemente, a causas metabólicas (Movaffaghy y cols., 2002).

Efectos fisiológicos en esfuerzos dinámicos

Aunque no en la misma medida que en el ejercicio isométrico, la presión arterial general (la sistólica principalmente) aumenta con el ejercicio dinámico (Harris y cols., 1996). Sin embargo, al contrario que en el caso de ejercicios isométricos, la presión intraocular desciende con la práctica de ejercicios dinámicos (Harris y cols., 1996), volviendo a valores de reposo después de aproximadamente 30 minutos (Price y cols., 2003), por lo que la práctica de actividad física aeróbica moderada puede ser muy recomendable para pacientes con glaucoma (Avunduk y cols., 1999).

A pesar de que la presión intraocular descienda con la práctica de ejercicios dinámicos, la perfusión ocu-

lar aumenta con el ejercicio dinámico (Lovasik y cols., 2003; Lovasik y cols., 2004) y el flujo sanguíneo retineano se incrementa (Lovasik y cols., 2004) para compensar la reducción del diámetro de las arterias coroideas (Harris y cols., 1996; y Kergoat y Lovanski, 1995) y de las principales ramas de la arteria oftálmica (Michelson y cols., 1994) y mantener, de esta forma, la función visual cuando la sangre se distribuye principalmente a los grandes grupos musculares implicados en la realización del ejercicio. Al igual que en el ejercicio isométrico, el incremento de concentración de óxido nítrico (NO) podría jugar un papel regulador del flujo sanguíneo a nivel de la retina y la coroides, mientras que la presión parcial de CO₂ no parece verse afectada durante la práctica de ejercicios dinámicos (Okuno y cols., 2006).

Michelson y sus colaboradores (1994) apuntan a un mecanismo simpático para proteger el ojo de un incremento excesivo de la presión intraocular mediante la vasoconstricción de las arterias. Por otro lado, existen estudios en los que se ha conseguido disminuir la frecuencia cardíaca mediante la inducción de una presión intraocular alta presionando el polo anterior del ojo (Arnold y cols., 1991). Esto podría significar que la presión intraocular elevada podría controlar la frecuencia cardíaca impidiendo al sujeto realizar un incremento de la intensidad del ejercicio que podría ocasionar daños graves al ojo.

Según lo expuesto con anterioridad, la *tabla 3* resume los efectos de los esfuerzos isométricos y dinámicos en el ojo.

Aunque haya bastante investigación al respecto de los efectos del ejercicio sobre la fisiología del sistema visual, todavía quedan por responder muchas preguntas sobre los efectos de la práctica de actividad física sobre la función ocular. Las siguientes son algunas de ellas:

- El descenso del pH producido por el ejercicio anaeróbico, ¿altera la función del SNC y, por lo tanto, de la función visual?, ¿produce fallos en la contracción y el control de los músculos oculares?
- El incremento de la activación simpática producida por el ejercicio, ¿modifica el tono, el funcionamiento y/o la sensibilidad de los músculos oculares y, por lo tanto, el mecanismo de acomodación-convergencia?
- La fatiga neural producida por el ejercicio, ¿disminuye de la efectividad de la transmisión del estímulo visual?, ¿aumenta el umbral de activación de los fotorreceptores?
- La modificación de los niveles de glucosa en sangre durante el ejercicio, ¿disminuye el aporte de nutrientes al sistema visual? En este caso, es de suponer que si el SNC se ve protegido de la reducción de glucosa y oxígeno, también lo debería estar, por proximidad y la relevancia de sus funciones, el sistema visual; sin embargo, este punto no está todavía nada claro.

Consejos para la investigación de los efectos fisiológicos de la práctica deportiva sobre el sistema visual

Los protocolos experimentales clásicos en visión deportiva se pueden incluir en tres grandes grupos:

- Por un lado están los estudios que ponen al sujeto en una situación más o menos semejante a la realidad deportiva (ej.: tapiz rodante), pero los esfuerzos casi nunca son de carácter máximo. Hacen falta estudios básicos en los que se le requieran al sujeto *esfuerzos máximos*, sobre todo con esfuerzos anaeróbicos lácticos, muy frecuentes en los momentos claves de la competición y que pueden

	Ejercicio isométrico	Ejercicio dinámico
Presión arterial general	Aumenta	Aumenta
Presión intraocular	Aumenta (mucho)	Desciende
Flujo coroidal	Aumenta	Aumenta
Vasoconstricción	Sí (poca)	Sí (muchas)
Perfusión ocular (flujo/tiempo)	Aumenta	Aumenta

Tabla 3

Efectos de los ejercicios isométricos y dinámicos en distintos parámetros circulatorios.

afectar significativamente al sistema visual. Los esfuerzos aeróbicos no suponen un estrés significativo para el deportista, a no ser que éstos sean de muy larga duración.

- Otro grupo de estudios realizan pruebas antes y después de la competición. Hay que tener en cuenta que una competición no es igual de estresante para el individuo que gana que para el que pierde, ni para alguien que se está jugando un título mundial o una gran cantidad de dinero si lo comparamos con el que está jugando un trofeo de barrio. Sin embargo, en la mayoría de los estudios se suelen mezclar los sujetos ganadores y los perdedores. Esto puede llevar a errores en los resultados y a reducir la significatividad de los mismos.
- También existen gran cantidad de trabajos en los que se comparan los valores de habilidades o capacidades visuales de sujetos deportistas con los de la población sedentaria. Es un error incluir en un estudio de visión dentro del grupo de “activos” a un deportista profesional y a uno aficionado, o incluir en la misma muestra de “deportistas de élite” a un campeón del mundo de tiro olímpico con uno de atletismo. Hay que tener también en cuenta que la población sedentaria puede haber hecho deporte con anterioridad y haber desarrollado en el pasado sus capacidades visuales hasta un nivel excepcional; este hecho alteraría las características visuales de la muestra de sedentarios.

Desde nuestro punto de vista, en el futuro, los protocolos experimentales deberían de tener en cuenta los siguientes puntos:

- Los estudios deben de combinar las pruebas de laboratorio objetivas (para medir capacidades visuales) con tests más próximos a la situación real de juego (para medir habilidades visuales, consideradas éstas como la rentabilidad funcional que saca el sujeto a sus capacidades visuales en situaciones determinadas). Por ejemplo, un sujeto puede tener una gran amplitud de acomodación (capacidad visual), pero puede requerir mucho tiempo para realizarla e integrarla con la capacidad de convergencia, por lo que la relación acomodación-convergencia (habilidad visual) será muy mala. Otro ejemplo sería un sujeto que con muy buena agudeza visual estática (capacidad visual) tuviera muy mala agudeza visual dinámica (habilidad visual), al no ser capaz de controlar

los precisos movimientos oculares que permitan la fijación del objeto en movimiento.

- Habría que tener en cuenta el tipo de esfuerzo que se realiza en competición para la confección de los grupos de sujetos deportistas. Por ejemplo, no se deberían incluir en un mismo grupo atletas de resistencia y corredores de 400 metros, puesto que los niveles de ácido láctico a los que suelen trabajar son completamente distintos. Otro error sería incluir en un estudio de efectos del esfuerzo deportivo sobre el tiempo de reacción visual a deportistas de tiro con jugadores de baloncesto. Mientras en el tiro se trabaja bajo la activación del sistema parasimpático, en el baloncesto predomina la activación del sistema simpático, algo que tiene efectos fundamentales en la respuesta frente al estímulo visual.
- Por último, habría que definir los efectos del ejercicio en las diferentes capacidades visuales en función de las distintas intensidades de esfuerzo. Una buena idea sería relacionar el nivel de ácido láctico alcanzado durante un esfuerzo con la eficiencia en una capacidad, por ejemplo, el umbral de sensibilidad de contraste.

Bibliografía

- Albrechtsen, H. H. y Norn, M. S. (1992). Conjunctivo-cytologic changes in response to intense physical activity (Abstract). *Acta Ophthalmologica* 70(3):413-5.
- Arnold, R. W.; Dyer, J. A.; Gould, A. B.; Hohberger, G. G. y Low, P. A. (1991). Sensitivity to vasovagal maneuvers in normal children and adults (Abstract). *Mayo Clinic proceedings* 66(8):797-804.
- Avunduk, A. M.; Yilmaz, B.; Sahin, N.; Kapicioglu, Z. y Dayanir, V. (1999). The comparison of intraocular pressure reductions after isometric and isokinetic exercises in normal individuals. *Ophthalmologica* 213(5):290-4.
- Blum, M.; Bachmann, K. y Strobel, J. (2000). Age correlation of blood pressure induced myogenic autoregulation of human retinal arterioles in 40 volunteers (Abstract). *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 217(4):225-230.
- Dickerman, R. D.; Smith, G. H.; Langham-Roof, L.; McConalby, W. J.; East, J. W. y Smith, A. B. (1999). Intra-ocular pressure changes during maximal isometric contraction: does this reflect intracranial pressure or retinal venous pressure? *Neurological research* 21(3):243-246.
- Fuchsjaeger-Mayrl, G.; Luksch, A.; Malec, M.; Polska, E.; Wolzt, M. y Schmetterer, L. (2003). Role of endothelin-1 in choroidal blood flow regulation during isometric exercise in healthy humans. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 44:728-733.
- Haargaard, B.; Jensen, P. K.; Kessing, S. V. y Nissen, O. I. (2001). Exercise and iris concavity in healthy eyes. *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 79(3):277-282.
- Harris, A.; Arend, O.; Bohnke, K.; Kroepfl, E.; Danis, R. y Martin, B. (1996). Retinal blood flow during dynamic exercise (Abstract).

- Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology*. 234(7):440-444.
- Jensen, P. K.; Nissen, O.; Kessing, S. V. (1995). Exercise and reversed papillary block in pigmentary glaucoma. *American Journal of Ophthalmology* 120(1):110-112.
- Kergoat, H. y Forcier, P. (1996). Correlation of an exercise-induced increase in systemic circulation with neural retinal function in humans. *Documenta ophthalmologica* 92(3):145-157.
- Kergoat, H. y Lovanski, J. V. (1995). Response of parapapillary retinal vessels to exercise. *Optometry and vision science* 72(4):249-257.
- Kergoat, H. y Tinjust, D. (2004). Neuroretinal function during systemic hyperoxia and hypercapnia in humans. *Optometry and vision science* 81(3):214-220.
- Kiss, B.; Dallinger, S.; Polak, K.; Findl, O.; Eichler, H. G. y Schmettenner, L. (2001). Ocular hemodynamics during isometric exercise (Abstract). *Microvascular Research* 61(1):1-13.
- Lovasik, J. V. y Kergoat, H. (2004). Consequences of an increase in the ocular perfusion pressure on the pulsatile ocular blood flow. *Optometry and vision science* 81(8):692-698.
- Lovasik, J. V.; Kergoat, H.; Riva, C. E.; Petrig, B. L. y Geisar, M. (2003). Choroidal blood flow during exercise-induced changes in the ocular perfusion pressure. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 44(5):2126-2132.
- Luksch, A.; Polska, E.; Inhof, A.; Schering, J.; Fuchsjäger-Mayrl, G.; Wolzt, M. y Schmetterer, L. (2003). Role of NO in choroidal blood flow regulation during exercise in healthy humans. *Investigative Ophthalmology and Visual Science* 44(2):734-739.
- Michelson, G.; Groh, M. y Grundler, A. (1994). Regulation of ocular blood flow during increases of arterial blood pressure. *British Journal of Ophthalmology* 78(6):461-465.
- Movaffaghy, A.; Chamot, S. R.; Dosso, A.; Pourmaras, C. J.; Sommerhalder, J. R. y Riva, C. E. (2002). Effect of isometric exercise on choroidal blood flow during type I diabetic patients (Abstract). *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 219(4):299-301.
- Movaffaghy, A.; Chamot, S. R.; Petrig, B. L. y Riva, C. E. (1998). Blood flow in the human optic nerve head during isometric exercise. *Experimental eye research* 67(5):561-568.
- Okuno, T.; Sugiyama, T.; Kohyama, M.; Kojima, S.; Oku, H. y Ikeida, T. (2006). *Eye* 20:796-800.
- Ozkaya, Y. G.; Agar, A.; Hacioglu, G.; Yargicoglu, P.; Abidin, I. y Senturk, U. K. (2003). Training induced alterations of visual evoked potentials are not related to body temperature. *International Journal of Sports Medicine* 24(5):359-362.
- Ozmerdivenli, R.; Bulut, S.; Bayar, H.; Karacabey, K.; Ciloglu, F.; Peker, I. y Tan, U. (2005). Effects of exercise on visual evoked potentials. *The International journal of neuroscience* 115(7):1043-50.
- Polska, E.; Luksch, A.; Schering, J.; Frank, B.; Imhof, A.; Fuchsjäger-Mayrl, G.; Wolzt, M. y Schmetterer, L. (2003). Propranolol and atropine do not alter choroidal blood flow regulation during isometric exercise in healthy humans. *Microvascular Research* 65(1):39-44.
- Pourmaras, C. J. y Riva, C. E. (2001). Studies of the hemodynamics of the optic head nerve using laser Doppler flowmetry. *Journal Français d'Ophthalmologie* 24(2):199-205.
- Price, E. L.; Gray, L. S.; Humpries, L.; Zweig, C. y Button, N. F. (2003). Effect of exercise on intraocular pressure and pulsatile ocular blood flow in a young normal population. *Optometry and vision science* 80(6):460-466.
- RALE (2001). *Diccionario de la Lengua Española*. Pozuelo de Alarcón: Espasa-Calpe.
- Riva, C. E.; Titze, P.; Hero, M.; Movaffaghy, A. y Petrig, B. L. (1997). Choroidal blood flow during isometric exercises. *Investigative ophthalmology and visual science* 38(11):2338-2343.
- Vieira, G. M.; Oliveira, H. B.; Tavares de Andrade, D.; Bottaro, M. y Ritch, R. (2006). Intraocular pressure variation during Weight Lifting. *Archives of Ophthalmology* 124:1251-1254.
- Wilmore, J. H. y Costill, D. L. (1999). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (2.ª ed.). Barcelona: Paidotribo.
- Wimpissinger, B.; Resch, H.; Berisha, F.; Weigert, G.; Polak, K. y Schmetterer, L. (2003). Effects of isometric exercise on subfoveal choroidal blood flow in smokers and non-smokers. *Investigative ophthalmology and visual science* 44(11):4859-4863.
- Woods, R. L. y Thomson, W. D. (1995). Effects of exercise on aspects of visual function. *Ophthalmic and physiological optics* 15(1):5-12.