



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Análisis de los cambios vasculares mediante angio
OCT tras la realización de ejercicio físico de bajo
impacto.

Autor/es

Elena Bianca Stanica

Director/es

Isabel Pinilla Lozano
Ana Isabel Sánchez Cano

Facultad de Ciencias / Óptica y optometría
2018

ÍNDICE

1	Índice de abreviaturas.....	2
2	Introducción.....	3
2.1	La retina.....	3
2.2	La coroides.....	5
2.3	La Tomografía de Coherencia Óptica.....	5
2.4	Beneficios del deporte en la salud visual.....	6
3	Hipótesis y objetivos.....	7
4	Material y métodos.....	8
4.1	Sujetos a estudio.....	8
4.2	Protocolos.....	8
4.2.1	Protocolo tomográfico.....	8
4.2.2	Protocolo biométrico.....	11
4.2.3	Protocolo refractivo.....	12
4.3	Análisis estadístico.....	12
5	Resultados.....	13
6	Discusión.....	18
6.1	Espesor retiniano.....	18
6.2	Espesor coroideo.....	19
6.3	Flujo retiniano.....	19
6.4	Área avascular foveal.....	20
7	Conclusiones.....	21
8	Bibliografía.....	22

1 Índice de abreviaturas

DS: Desviación estándar

ETDRS: Early Treatment Diabetic Retinopathy Study

GPS: Glaucoma Progression Software

LA: Longitud axial

OCT: Tomografía de Coherencia Óptica

OCTA: Angiografía por Tomografía de Coherencia Óptica

2 Introducción

2.1 La retina

La retina es la capa más interna del globo ocular. Su función es recibir los estímulos luminosos, captados mediante unas células llamadas fotorreceptores (conos y bastones). Los conos son los encargados de la visión fotópica (luz), y son los responsables de los colores y la visión de detalle; los bastones son los encargados de la visión escotópica (baja iluminación).¹

La retina está formada por diez capas bien diferenciadas (Figura 1). Están íntimamente conectadas para ir transformando la señal de luz que reciben en el impulso nervioso.

- **Membrana limitante interna:** membrana muy fina que separa la capa de fibras nerviosas del humor vítreo.
- **Capa de fibras nerviosas:** formada por los axones de las células ganglionares. Es una capa de fibras nerviosas no mielinizadas que formarán el nervio óptico.
- **Capa de células ganglionares:** los axones de estas células forman la capa de fibras nerviosas.
- **Capa plexiforme externa:** aquí se realiza la sinapsis de las células ganglionares con las células bipolares. Las células amacrinas de Cajal intervienen en la sinapsis.
- **Capa nuclear o granulosa interna:** formada principalmente por los cuerpos de las células bipolares.
- **Capa plexiforme externa:** se realiza la sinapsis entre las células bipolares y los fotorreceptores, a través de las células horizontales.
- **Capa nuclear o granulosa externa:** está formada por los cuerpos celulares de los fotorreceptores.
- **Membrana limitante externa:** fina lámina con agujeros por donde pasan las fibras de los conos y de los bastones. Formada por expansiones de las células de Müller.
- **Capa de fotorreceptores:** formada por conos y bastones.

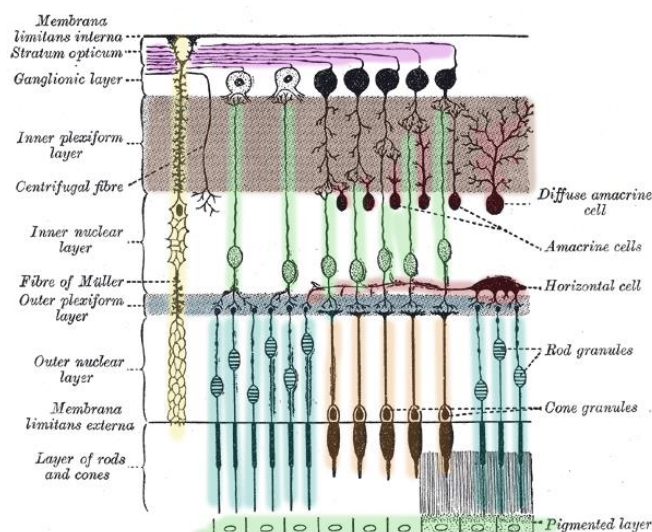


Figura 1. Capas de la retina.

En el polo posterior de la retina se diferencian las siguientes estructuras (Figura 2):

- **Papila óptica:** segmento intraocular del nervio óptico. A través de la misma salen las fibras nerviosas procedentes de la retina (axones de las células ganglionares) que llevarán los estímulos eléctricos al cerebro.
- **Mácula:** área de 5 mm de diámetro situada en el centro del polo posterior y encargada de la visión central. Contiene un pigmento xantófilo, que le da esa coloración, y que protege la retina del daño foto-oxidativo.
- **Fóvea:** área de 1,5 mm de diámetro que se encuentra en el centro de la mácula. Está rodeada por un reflejo brillante, visible sobre todo en gente joven. Es la zona que proporciona la visión del detalle.
- **Foveola:** pequeña depresión que se encuentra en el centro de la fóvea. Tiene un diámetro de 0,3 mm. Es la parte más delgada de la retina, donde sólo existen conos. No posee vasos sanguíneos.²

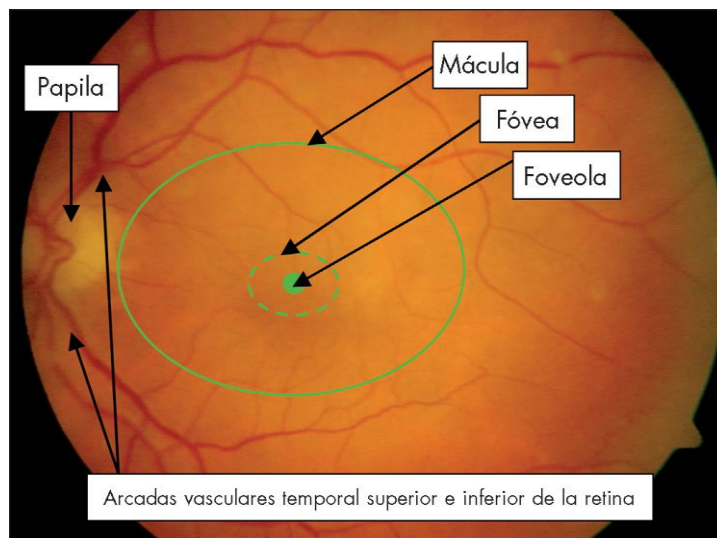


Figura 2. Fondo de ojo correspondiente a un ojo izquierdo.

La retina está irrigada por la arteria central de la retina, la cual entra al ojo y se divide en cuatro grandes ramas. La arteria ciliarretiniana, algunas veces presente, irriga la retina interna entre el nervio óptico y la mácula. La necesidad metabólica en todo el espesor de la retina se suple a partir de la división de las arterias en más de cuatro capas de capilares. La más superficial es la red capilar peripapilar, ubicada en la capa de fibras nerviosas de la retina. La siguen en profundidad dos plexos capilares, el superficial y profundo de la retina, los cuales nutren sus dos tercios internos; por último, una red coriocapilar que proviene del sistema capilar de las arterias ciliares posteriores cortas irriga la retina externa desde la membrana limitante externa.³

2.2 La coroides

La coroides es una membrana vascular que forma parte de la capa intermedia de la pared del ojo, entre la esclerótica (capa exterior blanca del ojo) y la retina (capa interna de tejido nervioso en la parte posterior del ojo).

La coroides está llena de vasos sanguíneos, y su función es aportar oxígeno y nutrientes a diversas estructuras del globo ocular, como por ejemplo la retina.⁴

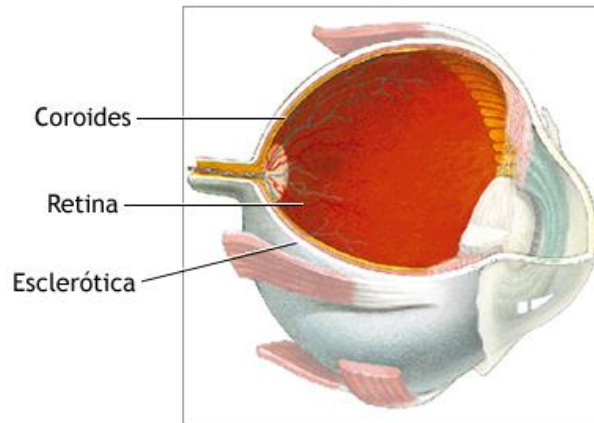


Figura 3. Globo ocular donde se muestran coroides, retina y esclera.

2.3 La Tomografía de Coherencia Óptica

La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) constituye uno de los mayores avances tecnológicos de los últimos años en el mundo de la oftalmología, convirtiéndose en la prueba diagnóstica de referencia para el diagnóstico y seguimiento de múltiples enfermedades de la retina y nervio óptico. El instrumento puede obtener imágenes del segmento anterior, cristalino y retina diferenciando estructuras con una resolución inferior a 10 micras lo que la convierte en un método de gran valor diagnóstico en el campo de la oftalmología.⁵

La angiografía por Tomografía de Coherencia Óptica (OCTA) es un nuevo método complementario que brinda imágenes angiográficas de alta resolución de la circulación coroidea y retiniana. La visualización del flujo intravascular por OCTA se obtiene sin la necesidad de inyectar un colorante. Se constituye una nueva interpretación de las imágenes a partir de parámetros diagnósticos de modificaciones vasculares.

Al dividir la señal completa del OCT en bandas estrechas se reducen significativamente los ruidos e interferencias en la señal, permitiendo detectar de esta forma la circulación, no solo en los grandes vasos de la coroides y de la retina, sino también en los capilares. Con esta tecnología no es necesaria la inyección de medios de contraste en la circulación del paciente para la adquisición de imágenes angiográficas, ya que detecta el movimiento de los eritrocitos a nivel de los vasos sanguíneos, incluyendo pequeños capilares. No tiene capacidad de detectar zonas donde la circulación es lenta, o de detectar fugas de colorante a partir de vasos cuando existe una rotura de la barrera hematorretiniana. La circulación a nivel del polo posterior puede estudiarse en diferentes profundidades, comenzando en la retina para luego ir siguiendo los vasos hasta la coroides.³

2.4 Beneficios del deporte en la salud visual

Es sabido que la práctica de actividades físicas es beneficiaria para la salud, previniendo enfermedades y mejorando la salud general.

En concreto, hay estudios que demuestran que la realización constante de ejercicio físico afecta de un modo positivo a la salud visual.

La práctica de ejercicios aeróbicos, como correr, está relacionada con un menor riesgo de desarrollar patologías vasculares, incluyendo enfermedades retinianas, como por ejemplo la degeneración macular asociada a la edad, independientemente del peso o del consumo de tabaco.^{6,7}

Esto es debido a que el ejercicio físico mejora el flujo sanguíneo y estimula la eliminación de toxinas, favoreciendo el funcionamiento de los tejidos.

3 Hipótesis y objetivos

HIPÓTESIS: El ejercicio físico induce modificaciones a nivel de la circulación sistémica que pueden repercutir en la vascularización de los tejidos. La OCTA nos permite valorar la vascularización a nivel de los distintos plexos capilares retinianos. En caso de existir una modificación en los plexos capilares retinianos después de la realización de ejercicio aeróbico, podemos detectarlo a través de las modificaciones y cambio de flujo en la OCTA.

OBJETIVO PRIMARIO: Evaluar los cambios inducidos por la actividad física a nivel de la perfusión macular, valorando el flujo a nivel de los plexos capilares retinianos superficial y profundo, a distintos tiempos, mediante la utilización de OCTA.

OBJETIVO SECUNDARIO: Valorar las modificaciones a nivel de la zona avascular foveal después de la realización de ejercicio físico, tanto a nivel del plexo capilar superficial como del plexo capilar profundo de la retina.

4 Material y métodos

4.1 Sujetos a estudio

Este estudio incluye una muestra de 30 ojos de sujetos voluntarios, sin ninguna patología ocular o sistémica, y con edades comprendidas entre 21 y 34 años.

Los sujetos cumplían los siguientes criterios de inclusión:

- Obtención del consentimiento informado.
- Edad igual o superior a 18 años, e inferior a 35 años.
- Agudeza visual igual o superior a 20/25 en escala Snellen con su mejor corrección.
- Equivalente esférico de hasta $\pm 6,00D$ y $\pm 3,00D$ de astigmatismo.

Los sujetos cumplían los siguientes criterios de exclusión:

- Existencia de patologías oftálmicas.
- Existencia de patologías sistémicas, incluida cualquier patología vascular.
- Sujetos sometidos a cirugía ocular, incluida cirugía refractiva.

Las medidas fueron tomadas a una hora específica del día (13.00 horas) y en las mismas condiciones para todos los sujetos. En todos los casos el individuo evaluado no podía: consumir alcohol ni cafeína 24h antes de las pruebas, portar lentes de contacto durante las pruebas, así como tampoco 3h antes de la realización de las mismas, y practicar ejercicio físico 3h antes de las pruebas.

El ejercicio realizado por los sujetos consistió en subir y bajar escaleras durante 10 minutos (ejercicio aeróbico).

4.2 Protocolos

4.2.1 Protocolo tomográfico

La OCT es una técnica diagnóstica no invasiva que proporciona imágenes en profundidad de los tejidos.

Uno de los últimos avances dentro de la tecnología de los OCT, es el OCT Swept Source Triton (Triton™, Topcon, Japón) (Figura 4). Este sistema aporta una significativa mejora en relación con el OCT convencional. Su principal diferencia está en la fuente de luz de exploración, que emite una longitud de onda de 1050 nm, gracias a la cual la penetración en las capas más profundas del ojo se ha optimizado. La alta penetración de la luz de Swept Source permite visualizar fácilmente y de manera clara las capas posteriores del ojo, como pueden ser la coroides y la esclera.

Otra de las ventajas de Swept Source es que puede visualizar tanto el vítreo como la coroides en una sola exploración, con una resolución uniforme y sin ruidos.

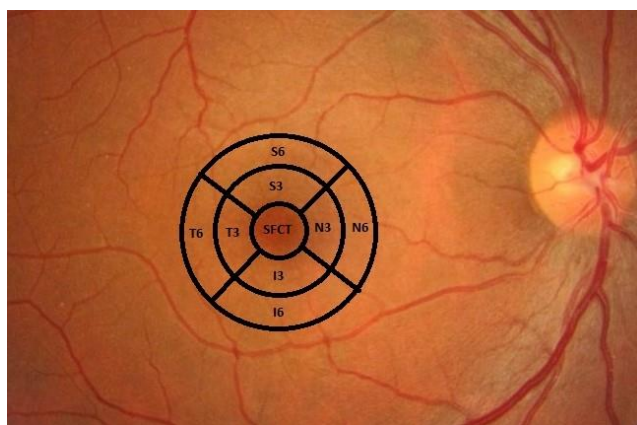
Además, tiene también una mayor capacidad de penetración a través de las cataratas, las hemorragias, los vasos sanguíneos y la esclerótica.

Este sistema posee una velocidad de exploración aproximadamente dos veces más rápida que otros sistemas (100-000 A-Scans/segundo), lo que aporta más información, mayor eficiencia y gran calidad del diagnóstico. Se puede escanear el globo ocular con un mayor ángulo de observación, gracias a los patrones de campo amplio. Triton combina la obtención de las imágenes OCT de Ultra Resolución, con imágenes de fondo de ojo en color real, autofluorescencia y/o angiografía. Además, incorpora software

«EnFace» junto con otros desarrollos, que permiten evaluar la vascularización retiniana y coroidea, a diferentes profundidades. Triton incorpora un software específico para análisis Macular, diagnóstico de glaucoma con bases de datos normativas para la capa de fibras nerviosas de la retina, módulo de seguimiento de glaucoma GPS (Glaucoma Progression Software), análisis de espesor coroideo, y módulo de segmento anterior.⁸ En la Figura 5 se muestran los distintos sectores que analiza el OCT para proporcionar el espesor de la retina y de la coroides.



Figura 4. OCT Triton, Topcon, Japón.



- T6 Temporal 6 mm
- T3 Temporal 3 mm
- I6 Inferior 6 mm
- I3 Inferior 3 mm
- N6 Nasal 6 mm
- N3 Nasal 3 mm
- S6 Superior 6 mm
- S3 Superior 3 mm
- SFCT Espesor coroideo subfoveal mm
- VolTotal Volumen total mm³

Figura 5. Sectores estudiados correspondientes a un ojo derecho.

La OCTA es una técnica que permite la valorización de la vascularización retiniana y coriocapilar de modo incruento, al valorar el movimiento hemático intravascular.³ Tanto el espesor basal retiniano y coroideo, así como el flujo retiniano, se midieron mediante el OCT Triton.

En cuanto al flujo retiniano, se utilizó el programa OCTA, tomando una medida de mácula de 6x6mm (Figura 6).

Se realizó una medida del flujo a cada sujeto antes de realizar ejercicio, otra a los 3 minutos de haber realizado ejercicio y otra tras haber transcurrido 10 minutos, en ambos ojos.

El flujo medido fue el del plexo superficial de la retina, que comprende los capilares localizados desde la capa de células ganglionares hasta la capa de fibras nerviosas de la retina.

El plexo superficial se representa por vasos retinales largos localizados en las capas más internas, la cual se encuentra desde $3\mu\text{m}$ por debajo de la membrana limitante interna hasta $15\mu\text{m}$ por debajo de la capa plexiforme interna, con una medida promedio de $120\mu\text{m}$.

Respecto al espesor basal de la retina y de la coroides, el programa utilizado fue el de Mácula 3D, que cuenta con el sistema SMARTTrack™, una herramienta para compensar los presentes movimientos involuntarios del ojo (microsacádicos).⁹

Tras realizar las medidas, el OCT Triton procesa automáticamente los datos y muestra el valor del flujo basal y del espesor, para cada cuadrante de la mácula.

Las medidas se consideraron de buena calidad cuando el valor del indicativo era superior a 60 en una escala de 100.

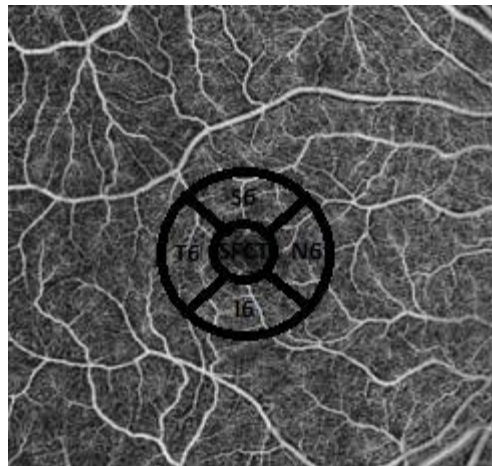


Figura 6. Sectores en un OCTA 6x6mm donde se mide el flujo retiniano, correspondiente a un ojo derecho.

El área de la zona avascular foveal fue medido en el plexo superficial retiniano, así como en el plexo profundo. El plexo superficial, como ya se ha mencionado anteriormente, comprende desde la capa de células ganglionares hasta la capa de fibras nerviosas de la retina, y el plexo profundo comprende desde la capa plexiforme externa hasta la capa nuclear interna. El área avascular fue definido como el área que bordea los capilares, usando para su medida, la herramienta semi-automática que proporciona el programa (Figura 7).

Se midió el área de cada sujeto antes de realizar ejercicio, a los 3 minutos de realizarlo y a los 10 minutos.

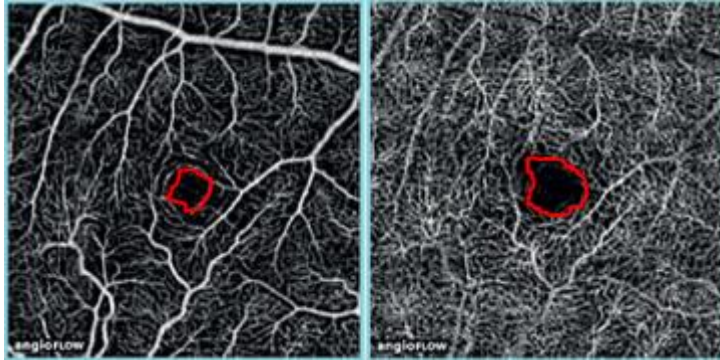


Figura 7. Área avascular foveal plexo superficial (izquierda) y plexo profundo (derecha).

4.2.2 Protocolo biométrico

El aparato que se utilizó para la medida de la longitud axial (LA) fue el Biómetro IOL Master 500 de Zeiss (Figura 8).

La biometría óptica (IOL Master™, Zeiss Meditec, EEUU) se basa en un sistema óptico denominado interferometría de coherencia parcial, que no precisa contacto con la córnea.

Este sistema emite un haz de luz infrarroja (longitud de onda 780nm), que pasa por un divisor de haz, generando dos haces de luz de alta coherencia, uno que se refractara en un espejo y otro que se reflejara en él. Estos dos haces pasan por el ojo reflejándose en las estructuras oculares transparentes. Por último, son recogidos por un fotodetector que transformara la información, a partir de un software, en un ecograma.^{10,11}

El biométreo óptico permite obtener de forma precisa la medición de la LA, la profundidad de cámara anterior, queratometría y diámetro corneal o blanco-blanco para ser usado en cirugías de catarata.

Las medidas fueron realizadas en ambos ojos, antes de que el sujeto hiciera ejercicio físico.

Se realizó una toma de 5 medidas de la LA, eligiendo finalmente un valor promedio de las 5.



Figura 8. Biómetro IOL Master 500 de Zeiss, EEUU.

4.2.3 Protocolo refractivo

Para estimar la graduación de cada sujeto, se les realizó un total de tres medidas en cada ojo, con el autorrefractómetro KR-800 (Topcon, Japón) (Figura 9).

Se trata de un aparato que se basa en la medición de la refracción ocular, proyectado luz infrarroja sobre el fondo de ojo y analizando el reflejo retiniano.

La razón por la cual se utiliza luz infrarroja, es porque el ojo humano es insensible a este tipo de luz, por lo que no se produce ningún estímulo en la retina. Otra de las razones por las que se usa este tipo de luz, es que la luz infrarroja es reflejada de manera muy eficiente por la retina.

El estímulo de fijación en estos instrumentos es una diapositiva en color de una escena natural uniforme, en la que a lo lejos destaca un objeto, con el objetivo de evitar un estímulo acomodativo.¹²

Los valores obtenidos sirvieron para determinar si los sujetos son aptos o no aptos para el estudio, según los criterios de inclusión ya referidos (equivalente esférico igual o inferior a $\pm 6,00D$ y cilindro igual o inferior a $\pm 3,00D$).



Figura 9. Autorrefractómetro KR-800, Topcon, Japón.

4.3 Análisis estadístico

Se utilizó la rejilla ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study) para el análisis de los espesores retinianos y coroideos además de un mapa circular para el análisis del flujo retiniano. Los resultados se analizaron de forma descriptiva con valores medios y desviación estándar ($\pm DS$) en cada una de las regiones descritas. La comparación de los promedios en cada una de las zonas tras la realización del ejercicio físico se realizó con el test de Friedman en el conjunto de los tres tiempos medidos. Se considera que las muestras alcanzan diferencias estadísticamente significativas en aquellos casos en los que $p < 0,05$.

La comparación entre los promedios de las áreas avasculares foveales del plexo superior con las del plexo profundo se realizó con el test de Wilcoxon en cada uno de los tres tiempos. Se dice que las muestras presentan diferencias estadísticamente significativas cuando $p < 0,05$.

5 Resultados

Fueron incluidos en el estudio un total de 30 ojos, de 15 pacientes sanos (6 hombres y 9 mujeres).

La edad media es $25,53 \pm 4,33$ y el rango de 22 años a 34 años.

La media de la ametropía es $-1,34 \pm 1,47$ mm, con un rango de $-4,00$ D a $+0,88$ D. Respecto a la LA, la media obtenida es $23,90 \pm 0,97$ mm y el rango es de 22,50mm a 26,01mm (Tabla 1).

	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (\pm)	MÍNIMO	MÁXIMO
EDAD (años)	25,53	4,33	22,00	34,00
AMETROPÍA (D)	-1,34	-1,47	-4,00	0,88
AL (mm)	23,90	0,97	22,50	26,01

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la población, número de muestras (n)=30.

En cuanto al análisis basal, en la Tabla 2 se observa la media del espesor retiniano en las 9 áreas estudiadas, así como el volumen total $8,13 \pm 0,37$ mm² y el espesor promedio $287,58 \pm 13,07$ μ m. En la población estudiada se observa que el área con mayor espesor retiniano se encuentra en la zona superior a 3mm de la fovea $324,15 \pm 13,33$ μ m, y el área con menor espesor en la zona central subfoveal con un valor de $240,16 \pm 13,89$ μ m.

RETINA				
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (\pm)	MÍNIMO	MÁXIMO
CENTRAL (μm)	240,16	13,89	213,09	259,04
T6 (μm)	266,59	17,32	207,11	292,52
S6 (μm)	281,44	13,69	243,08	304,47
N6 (μm)	299,73	14,78	259,05	321,30
I6 (μm)	271,53	14,80	226,43	296,58
T3 (μm)	309,12	12,94	281,92	333,71
S3 (μm)	324,15	13,33	294,32	344,52
N3 (μm)	323,77	13,96	296,81	346,83
I3 (μm)	321,75	13,01	288,41	342,10
V. TOTAL(mm²)	8,13	0,37	7,11	8,73
ESPESOR PROM (μm)	287,58	13,07	251,30	308,80

Tabla 2. Estadísticos descriptivos, espesores y volumen retina en las distintas áreas estudiadas.

En cuanto al espesor coroideo, en la Tabla 3 se observa que la media del espesor en las 9 áreas estudiadas es $311,90 \pm 66,23 \mu\text{m}$, el volumen total es $8,38 \pm 1,70 \text{ mm}^2$ y el espesor promedio es $296,27 \pm 60,29 \mu\text{m}$. La zona con mayor espesor coroideo, coincide con la zona con mayor espesor de la retina, siendo ésta la superior a 3mm de la fovea, con un valor de $322,08 \pm 73,42 \mu\text{m}$. La zona con menor espesor coroideo es la nasal a 6mm de la fovea con un valor de $244,43 \pm 70,92 \mu\text{m}$.

En general los espesores periféricos a 6mm de la fovea son menores que los espesores periféricos a 3mm, tanto en retina como en coroides.

COROIDES				
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (\pm)	MÍNIMO	MÁXIMO
CENTRAL (μm)	311,90	66,23	204,28	419,33
T6 (μm)	297,57	60,33	211,17	398,57
S6 (μm)	322,92	68,42	202,53	434,52
N6 (μm)	244,43	70,92	110,23	370,10
I6 (μm)	301,12	63,26	191,17	406,79
T3 (μm)	306,33	62,91	193,94	412,02
S3 (μm)	322,08	73,42	199,69	418,06
N3 (μm)	297,42	71,77	170,66	409,10
I3 (μm)	315,80	69,96	188,49	415,81
V. TOTAL(mm^2)	8,38	1,70	5,41	11,17
ESPESOR PROM (μm)	296,27	60,29	191,20	395,10

Tabla 3. Estadísticos descriptivos, espesores y volumen coroides, en las distintas áreas estudiadas.

En las tablas 4, 5 y 6 se recogen los datos del flujo retiniano, medido con el OCTA Triton. Se puede apreciar que las zonas con mayor y menor flujo de la retina, en los tres tiempos, coinciden con el área con mayor y menor espesor de la retina, siendo estas la zona superior y la zona central respectivamente.

En la tabla 7 se observa que no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) en el flujo retiniano tras realizar ejercicio aeróbico.

BASAL				
	Media	DS (\pm)	Mínimo	Máximo
SUPERIOR (%)	49,21	2,53	42,20	53,41
INFERIOR (%)	48,78	3,47	39,04	58,17
NASAL (%)	47,04	1,63	43,07	49,98
TEMPORAL (%)	45,91	2,36	41,38	51,97
CENTRO (%)	21,32	4,07	13,56	31,74

Tabla 4. Flujo en el plexo capilar retiniano superficial en situación basal (antes de realizar ejercicio).

3 MINUTOS				
	Media	DS (±)	Mínimo	Máximo
SUPERIOR (%)	49,32	2,94	41,49	54,43
INFERIOR (%)	48,74	3,43	40,89	53,38
NASAL (%)	46,18	2,87	38,05	50,25
TEMPORAL (%)	45,57	6,13	20,58	53,80
CENTRO (%)	20,79	4,09	12,70	32,54

Tabla 5. Flujo en el plexo capilar retiniano superficial a los 3 minutos de realizar ejercicio.

10 MINUTOS				
	Media	DS (±)	Mínimo	Máximo
SUPERIOR (%)	49,58	2,05	43,18	53,30
INFERIOR (%)	49,22	3,02	40,03	56,79
NASAL (%)	47,00	2,36	40,03	54,17
TEMPORAL (%)	46,89	1,99	41,73	51,54
CENTRO (%)	20,54	3,20	12,01	24,81

Tabla 6. Flujo en el plexo capilar retiniano superficial a los 10 minutos de realizar ejercicio.

	p Friedman
SUPERIOR	0,792
INFERIOR	0,792
NASAL	0,356
TEMPORAL	0,239
CENTRO	0,792

Tabla 7. p-Friedman de los valores flujo basal, a los 3 minutos y a los 10 minutos de realizar ejercicio.

En la Figura 10 se observa una comparación del flujo retiniano en los tres tiempos (basal, a los 3 minutos de hacer ejercicio y a los 10 minutos).

Se aprecia como en la zona superior, el flujo aumenta progresivamente, en la inferior se mantiene constante hasta los 3 minutos y aumenta su valor a los 10 minutos de realizar ejercicio. En la zona nasal y temporal se observa como el flujo retiniano disminuye su valor a los 3 minutos, y vuelve a recuperarlo a los 10 minutos. En cuanto a la zona central, el valor del flujo disminuye progresivamente. Ninguna de estas variaciones alcanzó significación estadística (Tabla 7).

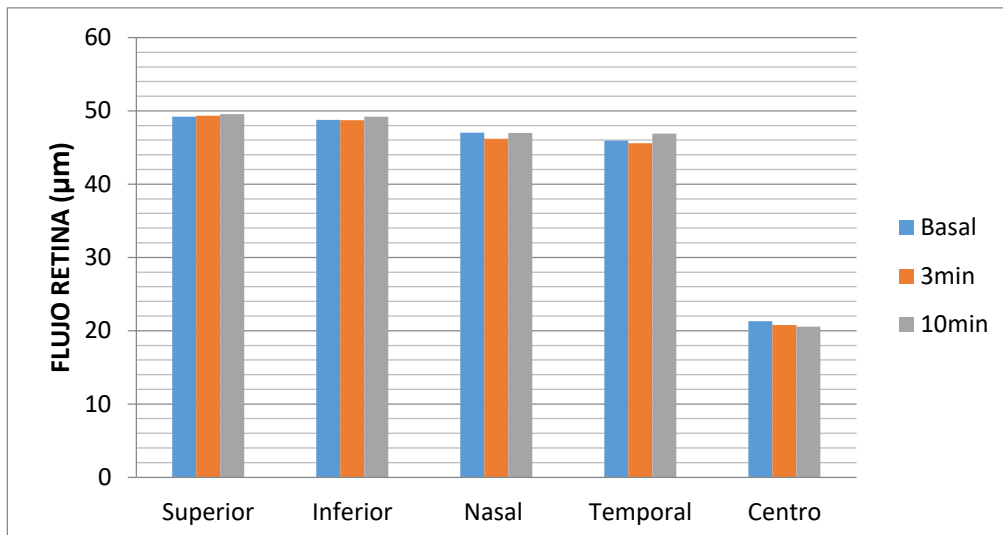


Figura 10. Comparación del flujo retiniano basal y después de realizar ejercicio (3 y 10 minutos), en los distintos sectores.

En cuanto al área avascular foveal del plexo superior de la retina (Tabla 8), se observa que la media basal tiene un valor de $264,81 \pm 90,76 \mu\text{m}^2$. La media del área avascular transcurridos 3 minutos tras la realización de ejercicio físico es $262,53 \pm 88,29 \mu\text{m}^2$, y en cuanto al área avascular a los 10 minutos de realizar ejercicio, la media es de $260,36 \pm 98,09 \mu\text{m}^2$.

Se puede observar como no existen diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$).

Respecto al área avascular foveal del plexo profundo de la retina (Tabla 9), se aprecia que la media basal tiene un valor de $263,92 \pm 84,93 \mu\text{m}^2$, la media del área avascular a los 3 minutos de realizar ejercicio tiene un valor de $270,59 \pm 107,25 \mu\text{m}^2$ y a los 10 minutos de realizar ejercicio $275,46 \pm 100,13 \mu\text{m}^2$.

Se puede observar que, al igual que en el plexo superficial, no existen diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$).

En la Tabla 10 se observa que, al comparar las áreas del plexo superior con las del plexo inferior, no existe ninguna diferencia estadísticamente significativa ($P > 0,05$).

	Estadísticos descriptivos				p-Friedman
	Media (μm^2)	Desviación típica (\pm)	Mínimo (μm^2)	Máximo (μm^2)	
Basal Sup	264,81	90,76	94,92	482,70	0,356
3min Sup	262,53	88,29	75,23	451,76	
10min Sup	260,36	98,09	91,06	493,59	

Tabla 8. Estadísticos descriptivos área avascular foveal en el plexo capilar superficial de la retina.

Estadísticos descriptivos					
	Media (μm^2)	Desviación típica (\pm)	Mínimo (μm^2)	Máximo (μm^2)	p-Friedman
Basal Prof	263,92	84,93	132,89	469,69	0,497
3min Prof	270,59	107,25	116,02	620,51	
10min Prof	275,46	100,13	107,58	571,99	

Tabla 9. Estadísticos descriptivos área avascular foveal en el plexo vascular profundo de la retina.

	Superior (μm^2)	Profunda (μm^2)	p-Wilcoxon
Basal	264,81	263,92	0,959
3min	262,53	270,59	0,517
10min	260,36	275,46	0,111

Tabla 10. Comparación entre las áreas avasculares de los plexos capilares superficial y profundo, coeficiente p-Wilcoxon.

En la Figura 11 se observa que el área avascular foveal en el plexo superior decrece tras hacer ejercicio, sin embargo, en el plexo profundo, el área avascular foveal aumenta tras la realización de ejercicio físico. También se observa que el área avascular es menor en el plexo superior que en el plexo profundo. Dichos resultados no alcanzan significación estadística, como ya se ha comentado anteriormente ($P > 0,05$).

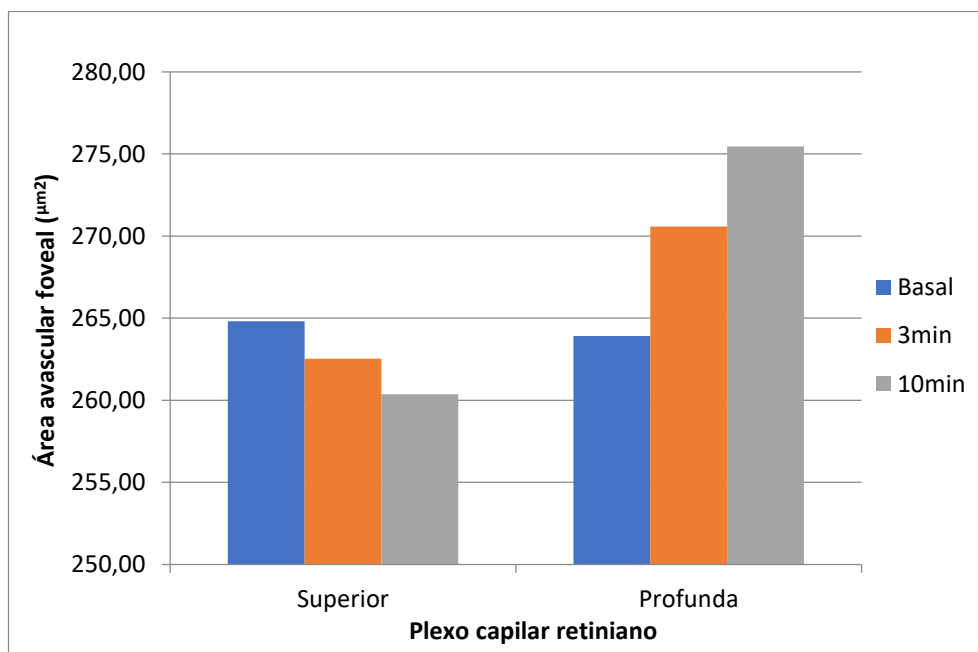


Figura 11. Comparación área avascular foveal en los 3 tiempos, plexo capilar superficial y plexo capilar profundo de la retina.

6 Discusión

6.1 Espesor retiniano

Los valores basales obtenidos del espesor de la retina, en los 9 cuadrantes estudiados, se corresponden con valores normales, según otros estudios, para la edad de la población estudiada.¹³

Si se observa el espesor retiniano en el anillo de 6mm, el espesor nasal es el de mayor valor, seguido del espesor superior, inferior y temporal.

En cuanto al espesor retiniano en el anillo de 3mm, la zona con mayor espesor es la zona superior, seguida muy de cerca de la zona nasal, inferior y temporal.

El espesor retiniano en la zona central es menor que en el resto de las zonas estudiadas, ya que como se ha comentado en la introducción, en la zona central foveal sólo hay núcleos de conos y células de Müller, lo que justifica esta disminución del espesor.

Los valores pueden variar al utilizar otros OCT, y sobre todo, al variar la edad de la población a estudio. En un trabajo realizado con el Optovue (EEUU), para un grupo de sujetos sanos de una edad diferente a la de nuestro estudio (63.1 ± 12.8 años), coincide, por la condición anatómica de la retina, que la zona central es la zona de menor espesor retiniano, con un valor de $274,15 \pm 16,52 \mu\text{m}$. La zona con mayor espesor retiniano es la zona nasal, con un valor de $329,92 \pm 16,64 \mu\text{m}$, en el anillo de 3mm alrededor de la fóvea.¹⁴

A pesar de que las zonas de menor y mayor espesor coincidan entre ambos estudios, existe una diferencia entre los valores obtenidos. Dicha diferencia puede ser debida a la edad de los sujetos o al tipo de aparato empleado para tomar las medidas, ya que los aparatos pueden utilizar distintas referencias.

Con el OCT Optovue (EEUU), para un grupo de 33 sujetos sanos y de una edad de $65 \pm 11,38$ años, se obtuvo un valor promedio del espesor retiniano de $315,46 \pm 14,45 \mu\text{m}$.¹⁵ Esto difiere del resultado obtenido en este trabajo ($287,58 \pm 13,07 \mu\text{m}$), pudiendo deberse la diferencia al equipo empleado para tomar las medidas o a la edad de los sujetos.

Un estudio, que en este caso compara el espesor retiniano obtenido, de 16 personas sanas, mediante Nidek OCT (Nidek CO, LTD, Japón) y Cirrus OCT (Zeiss, EEUU), obtuvo que las mediciones del grosor macular proporcionadas por los instrumentos OCT Nidek y Cirrus están altamente correlacionadas. Sin embargo, muestran una diferencia consistente, que puede permitir el uso de un factor de corrección estándar para aplicar a mediciones de mejor interrelación entre los dispositivos.²² Esto demuestra que las medidas pueden variar en función del aparato utilizado, como se ha indicado anteriormente.

6.2 Espesor coroideo

Referente a los valores basales del espesor coroideo obtenidos, se puede decir que se corresponden con valores normales para la edad de la población estudiada.¹⁸

Al observar los espesores coroideos obtenidos, se puede apreciar que en ambos anillos (6mm y 3mm), el espesor de mayor valor es el de la zona superior, seguido de la zona inferior, temporal y por último nasal.

El espesor obtenido en la zona nasal es considerablemente inferior al obtenido en el resto de los cuadrantes estudiados, lo cual lo corrobora un estudio realizado anteriormente.¹⁶ Dicho estudio, empleó 3D OCT-1000 (Topcon, Japón) de dominio espectral para tomar las medidas de un grupo de 45 individuos sanos, con una media de edad de 45,28 años. El valor promedio total del espesor coroideo obtenido fue $270,8\pm 51\mu\text{m}$, el espesor coroideo en la zona superior, a 3mm de la fóvea, fue $217,42\pm 57,62\mu\text{m}$, siendo este el de mayor valor; y el valor obtenido en la zona nasal, siendo esta la de menor valor, a 3mm de la fóvea, fue $200,49\pm 70,33\mu\text{m}$.

El espesor coroideo en la zona inferior es menor que el espesor coroideo obtenido en la zona superior, lo cual se demuestra en otro estudio que ya había sido realizado.¹⁷ Dicho estudio se realizó para un grupo de 43 sujetos sanos, con una edad media de 39.4 ± 16.0 años, de raza asiática, empleando el prototipo HP-OCT para tomar las medidas. El espesor coroideo promedio obtenido fue $354\pm 111\mu\text{m}$ y no se encontraron diferencias significativas entre el espesor inferior ($345\pm 108\mu\text{m}$) y superior ($364\pm 86\mu\text{m}$).

El espesor coroideo en sujetos sanos (30 hombres y 65 mujeres), con una media de edad de $23,8\pm 3,2$ años, utilizando el OCT Spectralis (Spectralis; Heidelberg Engineering, Heidelberg, Germany), obtuvo los siguientes resultados: espesor coroideo central $345,67\pm 81,80\mu\text{m}$, el espesor coroideo en la zona superior y temporal (áreas de 3 y 6mm) es mayor que el espesor obtenido en las zonas inferior y nasal del mismo diámetro (3 y 6mm).²¹

Los resultados de estos estudios difieren de los obtenidos en el nuestro. Las diferencias pueden deberse al aparato utilizado para tomar las medidas, ya que toman como referencia en las medidas distintas capas, a la diferencia de edad de los sujetos analizados o a la raza de los mismos.

6.3 Flujo retiniano

En cuanto al flujo retiniano, se observa como el valor promedio se mantiene constante en los distintos sectores y tiempos estudiados, sufriendo ligeras modificaciones sin relevancia. Analizando los datos, se puede observar que no existen diferencias estadísticamente significativas en el flujo retiniano, a la hora de realizar ejercicio aeróbico. Dichos resultados no son corroborados por otro estudio realizado, que sí que demuestran que existen cambios en el flujo retiniano tras la realización de ejercicio físico.¹⁹ Dicho estudio analiza el flujo retiniano a nivel macular de 13 sujetos sanos, con una media de edad de $27,3\pm 3,5$ años, tras realizar ejercicio físico. El aparato empleado para tomar las medidas es el Angio Vue (Optovue, EEUU). El ejercicio físico consistió en realizar una rutina de 20 minutos que incluía varios ejercicios (flexiones, abdominales,

sentadillas...etc). Las medidas fueron tomadas antes de realizar ejercicio e inmediatamente después de realizarlo.

Los resultados de este estudio parecen indicar que existe cambio en la zona superior e inferior, mientras que en las zonas temporal, nasal y central no existen cambios estadísticamente significativos. Los resultados obtenidos del flujo retiniano a nivel superficial, antes de realizar ejercicio, en las zonas superior e inferior son $58,2 \pm 1,3\%$ y $58,0 \pm 2,2\%$, respectivamente; mientras que los resultados tras realizar ejercicio son $56,9 \pm 1,4\%$ ($P < 0,001$) zona superior y $56,7 \pm 1,6\%$ ($P = 0,02$) zona inferior.

La diferencia entre los resultados obtenidos en nuestro trabajo, y los obtenidos en el estudio anteriormente nombrados, pueden ser debidos al aparato empleado para tomar las medidas o al tipo de ejercicio realizado y su duración (nuestro ejercicio consistió en subir y bajar escaleras durante 10 minutos).

El flujo retiniano superficial, en personas sanas con una edad media de $63,1 \pm 12,8$ años, empleando el Angio Vue (Optovue) para tomar las medidas, presentó valores basales mayores a los obtenidos en este trabajo.¹⁴ Este grupo es de mayor edad que el de nuestro trabajo, por lo que los valores no podrían ser comparables.

La bibliografía sobre el flujo retiniano es muy limitada y son pocos los estudios que pueden ser comparables debido a la variabilidad de las edades de los grupos estudiados, y los distintos equipos empleados. No obstante, hay que tener en cuenta que, así como la coroides es una capa altamente vascularizada, las modificaciones en los plexos capilares de la retina no tienen que ser tan marcadas como las modificaciones en la coriocapilar.

6.4 Área avascular foveal

Se observa en los datos obtenidos que no existen diferencias estadísticamente significativas en el área avascular foveal tanto del plexo superior como del plexo profundo. Tampoco existen diferencias estadísticamente significativas a la hora de comparar ambos plexos entre sí.

Esto lo corrobora un estudio realizado para un grupo de 58 personas sanas, con una edad media de $22,0 \pm 2,02$ años. Las medidas fueron tomadas antes de realizar ejercicio y tras realizar ejercicio de alto impacto durante 4 semanas. El aparato empleado para tomar las medidas fue el Angio Vue (Optovue). Dicho estudio no encontró ninguna diferencia estadísticamente significativa a la hora de comparar las medidas tomadas.²⁰

Aun sin que haya alcanzado diferencias significativas, si podemos valorar que existe una mayor tendencia a la modificación del flujo a nivel de la capa capilar profunda respecto a la capa superficial, ya que los capilares a este nivel son de mayor tamaño y más susceptibles a las variaciones del flujo vascular.

7 Conclusiones

- En este estudio, valorando las modificaciones en el flujo capilar retiniano después del ejercicio aeróbico en sujetos sanos y jóvenes, no se han observado variaciones en el flujo retiniano superficial después del ejercicio aeróbico ni a los 3 ni a los 10 minutos.
- En este trabajo, mediante OCTA, no se han encontrado variaciones a nivel de la zona avascular foveal, ni a nivel del plexo capilar superficial ni profundo retiniano, después de la realización de ejercicio aeróbico en sujetos jóvenes.

8 Bibliografía

1. Sánchez I. ¿Qué es la retina? Fundación retina España. Disponible en: <http://www.retina.es/retina/informacion-arm-a-fre/preguntas-frecuentes/313-ique-es-la-retina>
2. Gómez Maestra MJ. La retina. [blog]: Sociedad oftalmológica de la Comunidad Valenciana. Febrero 2014. Disponible en: <http://www.socv.org/la-retina/>
3. Alberto Agüero C, Ramón N, Arzabe C, Lávaque J. Angiografía de retina por tomografía de coherencia óptica (OCT-A). Consejo argentino de oftalmología, 2016, 9:1-57.
4. Regatieri CVS, Roh S, Weiter JJ. Retinal and choroidal circulation. In: Yanoff M, Duker JS, eds. Ophthalmology. 4th ed. Philadelphia, PA:Elsevier Saunders; 2014:chap 6.3.
5. Chamorro Gutiérrez E. Fundamentos ópticos de la OCT. Universidad Complutense de Madrid. Diciembre 2015.
6. Williams PT. Prospective study of inincident age-related macular degeneration in relation to vigorous physical activity during a 7-year follow-up. Investigative Ophthalmology and visual science, 2009, 50(1):101-106.
7. Lawrson E, Han M, Sellers J, Chrenek M, Hanif A, Gogniat M, et al. Aerobic exercise protects retinal function and structure from light-induced retinal degeneration. Journal of Neuroscience, 2014, 34(7):2406–2412.
8. Manual usuario OCT Triton. Topcon. Pag 1-8.
9. Manual usuario OCT Triton. Topcon. Pag 14.
10. Sheng H, Bottjer CA, Bullimore MA. Ocular component measurement using the Zeiss IOL Master. Optom Vis Sci, 2004, 81(1):27-34.
11. Connors R, Boseman P, Olson RJ. Accuracy and reproducibility of biometry using partial coherence interferometry. J. Cataract Refractive Surgery, 2002, 2(2):235-238.
12. Walter D. Furlan. Refracción objetiva automática. Fundamentos de optometría, 2011, 2:105-106.
13. Solé Gonzalez L, Abreu González R, Alonso Palasencia M, Abreu Reyes P. Espesor y volumen macular normal en tomografía de coherencia óptica de dominio espectral. Sociedad Canaria de Oftalmología, 2012, 23:19-25.
14. Treder M, Lauremann JL, Alnawaiseh M, Heiduschka P, Eter N. Quantitative changes in flow density in patients with adult-onset foveomacular vitelliform dystrophy: an OCT angiography study. Retinal Disorders, Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2018, 256(1):23-28.
15. Dimitrova G, Chihara E, Takahashi H, Amano H, Okazaki K. Quantitative retinal Optical Coherence Tomography Angiography in patients with diabetes without diabetic retinopathy. IOVS, 2017, 58(1):190-196.
16. Won Shin J, Un Shin Y, Yoon Cho H, Roo Lee B. Measurement of choroidal thickness in normal eyes using 3D OCT-1000 Spectral Domain Optical Coherence Tomography. Korean Journal Ophthalmology, 2012, 26(4):255–259.

17. Ikuno Y, Kawaguchi K, Nouchi T, Yasuno Y. Choroidal thickness in healthy Japanese subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010, 51(4):2173-2176.
18. Sardi Correa C, Acosta Cadavid C, Rodríguez Gómez AM, Mejía Estrada ME, Vásquez Trespalacios EM. Grosor coróideo central medido por tomografía de coherencia óptica. *Revista Mexicana de Oftalmología,* 2017, 91(1):2-8.
19. Alnawaiseh M, Lahme L, Treder M, Rosentreter A, Eter N. Short-term effects of exercise on optic nerve and macular perfusion measured by OCT-A. *The Journal of Retinal and Vitreous Diseases,* 2017, 37(9):1642-1646.
20. Schmitz B, Nelis P, Rolfes F, Alnawaiseh M, Klose A, Krüger M, et al. Effects of high-intensity interval training on optic nerve head and macular perfusion using optical coherence tomography angiography in healthy adults. *Atherosclerosis,* 2018, 274:8-15.
21. Sánchez-Cano A, Orduna E, Segura F, López C, Cuenca N, Abecia E, et al. Choroidal thickness and volumen in healthy young white adults and the relationship between them and axial length, ametropia and sex. *American Journal of Ophthalmology,* 2014, 158(3):574-583.
22. Tepelus TC, Hariri AH, Balasubramanian S, Sadda SR. Reproducibility of macular thickness measurements in eyes affected by dry age-related macular degeneration from two different SD-OCT Instruments. *Ophthalmic surgery, lasers and imaging retina,* 2018, 49(6):410-415.