



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

**ESTUDI DE L'EVOLUCIÓ DEL RENDIMENT ACOMODATIU,
DURANT EL TRACTAMENT DE L'AMBLIOPIA UNILATERAL
EN INFANTS**

AMANDA PÉREZ LLAMAS

DIRECTORA: MIREIA PACHECO CUTILLAS
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

GENER 2023



AGRAÏMENTS

En primer lloc m'agradaria agrair a la meva família per tot el recolzament al llarg de tota la carrera i també durant el desenvolupament d'aquest treball. També a tu, Oriol, per ajudar-me en tot el que ha estat de la teva mà i per tot el teu suport i ànims en aquesta etapa final.

Finalment, gràcies a tot l'equip d'optometria de l'Hospital Germans, Tries i Pujol per aquest any en el qual he après tantes coses noves i per acollir-me com a una més. En especial, gràcies a la Marta Triquell qui m'ha acompanyat al llarg de tot aquest treball i qui ha sigut un suport incondicional per mi. Al Jordi Castellví per tot el temps que m'ha dedicat i per donar-me l'oportunitat de fer les pràctiques amb ells. Sempre us estaré agraïda. Gràcies per tot!



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

ESTUDI DE L'EVOLUCIÓ DEL RENDIMENT ACOMODATIU, DURANT EL TRACTAMENT DE L'AMBLIPIA UNILATERAL EN INFANTS

RESUM

L'ambliopia, actualment és la principal causa de pèrdua de visió monocular en infants, afectant fins a 3 de cada 100 nens. Es tracta d'un trastorn del neurodesenvolupament que resulta d'una experiència visual inadequada durant els primers anys de vida, concretament durant el període crític a la infància per una estimulació inadequada de les vies visuals. Per tant, el requisit principal en el tractament de l'ambliopia es garantir una estimulació visual òptima eliminant qualsevol desenfocament òptic i la competència binocular generada per l'ull no ambliop.

L'estratègia per tractar l'ambliopia és proporcionar una imatge nítida a la retina de cada ull, mitjançant la correcció de l'error refractiu i evitar la supressió de l'ull ambliop, en part conseqüència de la competència generada per l'ull no ambliop. Hi ha diverses modalitats de tractament de l'ambliopia funcional per a restaurar eficaçment la funció visual y desenvolupar una entrada sinàptica més extensa en el còrtex visual. Degut a la pobre qualitat de la imatge retiniana que proporciona l'ull ambliop, moltes funcions visuals sensorials i motores es veuen afectades en l'ambliopia, generant una certa discapacitat visual.

En aquest treball volem estudiar com es veu afectada i com evoluciona la funció acomodativa de l'ull ambliop al llarg d'un tractament d'oclusió de l'ull no ambliop.

En el present estudi es van avaluar un total de 20 pacients, 10 no ambliops i 10 amb ambliopia unilateral anisomètrica que es van sotmetre a diferents proves: agudeses visual, amplitud d'acomodació, flexibilitat acomodativa i retard acomodatiu (MEM), en una primera visita. Aquestes mesures es van repetir en una segona visita als 3 mesos posteriors i per últim als 6 mesos de començar el tractament d'oclusió. Els resultats que es van obtenir, suggereixen que unes habilitats acomodatives milloren abans que unes altres i alhora que ho fa l'agudeses visual.



ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO ACOMODATIVO, DURANTE EL TRATAMIENTO DE LA AMBLIOPÍA UNILATERAL EN INFANTES

RESUMEN

La ambliopía, actualmente es la principal causa de pérdida de visión monocular en niños, afectando hasta a 3 de cada 100 niños. Se trata de un trastorno del neurodesarrollo que resulta de una experiencia visual inadecuada durante los primeros años de vida, concretamente durante el período crítico en la infancia por una estimulación inadecuada de las vías visuales. Por tanto, el requisito principal en el tratamiento de la ambliopía es garantizar una estimulación visual óptima eliminando cualquier desenfoque óptico y la competencia binocular generada por el ojo no ambliope.

La estrategia para tratar la ambliopía es proporcionar una imagen nítida a la retina de cada ojo, mediante la corrección del error refractivo y evitar la supresión del ojo ambliope, en parte consecuencia de la competencia generada por el ojo no ambliope. Existen diversas modalidades de tratamiento de la ambliopía funcional para restaurar eficazmente la función visual y desarrollar una entrada sináptica más extensa en el córtex visual. Debido a la pobre calidad de la imagen retiniana que proporciona el ojo ambliope, muchas funciones visuales sensoriales y motoras se ven afectadas en la ambliopía, generando una cierta discapacidad visual.

En este trabajo queremos estudiar cómo se ve afectada y cómo evoluciona la función acomodativa del ojo ambliope a lo largo de un tratamiento de oclusión del ojo no ambliope.

En el presente estudio se evaluaron un total de 20 pacientes, 10 no ambliopes y 10 con ambliopía unilateral anisométrica que se sometieron a diferentes pruebas: agudeza visual, amplitud de acomodación, flexibilidad acomodativa y retraso acomodativo (MEM), en una primera visita. Estas medidas se repitieron en una segunda visita a los 3 meses posteriores y por último a los 6 meses de empezar el tratamiento de oclusión. Los resultados que se obtuvieron sugieren que unas habilidades acomodativas mejoran antes que otras y al mismo tiempo que lo hace la agudeza visual.



STUDY OF THE EVOLUTION OF ACCOMMODATIVE PERFORMANCE, DURING THE TREATMENT OF UNILATERAL AMBLYOPIA IN CHILDREN

SUMMARY

Amblyopia is currently the leading cause of monocular vision loss in children, affecting up to 3 in 100 children. It is a neurodevelopmental disorder resulting from inadequate visual experience during the first years of life, specifically during the critical period in childhood (up to 7-10 years) due to inadequate stimulation of the visual pathways. Therefore, the main requirement in the treatment of amblyopia is to ensure optimal visual stimulation by eliminating any optical blur. The strategy to treat amblyopia is to provide a clear image to the retina of each eye to prevent suppression of the amblyopia eye. There are various treatment modalities, and it can effectively restore visual function and develop a more extensive synaptic entry into the visual cortex. In addition, in amblyopia many visual functions are affected by the poor quality of the retinal image in the amblyopic eye, leading to a certain visual impairment that affects the different sensory and motor visual functions. In this research we will focus on the accommodation capacity of the amblyopic eye and how it evolves during treatment. In this study, a total of 20 patients, 10 non-amblyopic and 10 with unilateral amblyopia, were evaluated and underwent different tests: visual acuity, amplitude of accommodation, accommodative flexibility, and accommodative delay (MEM). The measurements were repeated during the first visit, 3 months later and finally 6 months after the start of the occlusion treatment. The results obtained suggest that some accommodation skills improve before others and at the same time visual acuity does.



ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ
2. ESTAT DE L'ART: AMBLIOPIA
 - 2.1. Definició
 - 2.2. Prevalença
 - 2.3. Diagnòstic i limitacions en infants
 - 2.4. Mecanismes ambliogènics
 - 2.4.1. Privació visual
 - 2.4.2. Competència binocular
 - 2.5. Classificació
 - 2.5.1. Ambliopia orgànica
 - 2.5.2. Ambliopia funcional
 - 2.6. Opcions de tractament
 - 2.6.1. Correcció òptica
 - 2.6.2. Teràpia d'oclusió
 - 2.6.3. Penalització amb atropina
 - 2.6.4. Penalització amb filtres Bangerter
 - 2.6.5. Penalització òptica
3. INTRODUCCIÓ A L'ESTUDI
 - 3.1. Funcions visuals afectades
 - 3.1.1. Funcions visuals sensorials
 - 3.1.2. Funcions visuals motores
 - 3.2. Recuperació de l'ull ambliop
 - 3.2.1. Afectació de la imatge retiniana
 - 3.2.2. Qualitat de la imatge retiniana en funció del rendiment acomodatiu
 - 3.2.3. Visió monocular i limitació de l'eficàcia del tractament



4. OBJECTIUS
5. MÈTODE
 - 5.1. Selecció de la mostra i criteris d'inclusió
 - 5.2. Condicions experimentals i protocol
 - 5.3. Procediment de mesura
 - 5.4. Valors de normalitat
 - 5.4.1. Agudeses Visual
 - 5.4.2. Amplitud d'acomodació
 - 5.4.3. Flexibilitat d'acomodació
 - 5.4.4. Retard acomodatiu
6. RESULTATS
 - 6.1. Resum dels resultats
7. DISCUSSIÓ I CONCLUSIONS
8. BIBLIOGRAFIA



1. Introducció

La salut visual és un element valuós en el creixement dels infants, a on els primers anys de vida juguen un paper molt important per desenvolupar una correcta maduració del sistema visual. Condicions tals com l'ambliopia, poden amenaçar aquesta maduració afectant a l'agudesesa visual i resultant en una disminució visual permanent. En la majoria dels casos sol ser unilateral, al voltant del 60% en nens en edat preescolar i escolar, encara que també pot afectar a ambdós ulls.¹

L'ambliopia reflexa una alteració en el desenvolupament visual del cervell, que resulta en alteracions neuronals causades per errors de refracció no corregits, estrabisme o privació, durant el període sensible del sistema visual, que abasta des del naixement fins als 7-10 anys. L'ambliopia s'associa a moviments oculars anormals, acomodació deficient, inestabilitat de fixació, reducció de la sensibilitat al contrast i disfunció binocular. A més, habitualment és comú que causi un baix rendiment escolar en infants si no es tracta degudament a temps.²

Per tant, la identificació i el reconeixement a temps dels factors de risc ambliogènics tals com l'estrabisme o els errors refractius garanteixen l'èxit del tractament i, d'aquesta manera, la pèrdua de visió secundària a la ambliopia pot ser reversible.³

En el present estudi es pretén realitzar un seguiment de l'agudesesa visual i del rendiment acomodatiu dels infants, durant el tractament de l'ambliopia unilateral mitjançant el mètode d'oclusió.



2. Estat de l'art: Ambliopia

2.1. Definició

L'ambliopia es un trastorn del neurodesenvolupament que resulta d'una experiència visual inadequada durant els primers anys de vida. Actualment és la principal causa de pèrdua de visió monocular en infants ⁴, afectant fins a 3 de cada 100 nens. ⁵

Es creu que l'ambliopia apareix durant el període crític a la infància (fins als 7 - 10 anys) per una estimulació inadequada de les vies visuals, a on el còrtex visual queda en desús donant com a resultat una disminució de l'agudeses visual ⁶, entre d'altres funcions visuals.

2.2. Prevalença

Diversos estudis han avaluat la prevalença de l'ambliopia i han informat de que aquest trastorn està present en el 2% al 3% de la població ⁷⁻⁸ i en nens que encara no estan en edat escolar difereix del 0,3% al 5% ⁹. Després de comparar diversos articles de prevalença en diferents poblacions i grups, Mostafaie arriba a la conclusió de que la prevalença total d'ambliopia en nens de tot el món es del 4,3%. ⁶

Segons Fu Z (2020), s'estima que hi havia 99,2 milions de persones amb ambliopia en 2019 en tot el món i que augmentarà a 175'2 milions en 2030 i 131'9 milions en 2040. ¹⁰

2.3. Diagnòstic i limitacions en infants

La detecció de l'ambliopia és important per poder garantir un desenvolupament visual adequat i evitar una disminució permanent de l'agudeses visual. Aquest trastorn no produeix símptomes, per això és de difícil diagnòstic. Degut a que el tractament de l'ambliopia està limitat per l'edat, és de vital importància un diagnòstic precoç per tal d'iniciar el tractament el més aviat possible.

L'avaluació de la visió tradicional en nens de 3 anys pot ser difícil degut a la manca de col·laboració durant exàmens visuals com l'agudeses visual o la refracció, , etc. Per aquesta raó, cal emprar tècniques objectives com les proves de Hirschberg o el reflex de Bruckner, per poder millorar la detecció de l'ambliopia.

Els criteris de referència de l'Associació Americana d'Oftalmologia Pediàtrica i Estrabisme (AAOPS) per a la detecció dels factors de risc d'ambliopia son: ¹¹

- Anisometropia (esfèrica o cilíndrica) > 1.50D
- Astigmatisme > 1.50D o > 1.00D en l'eix oblic
- Hipermetropia > 3.50D
- Miopia > 0.00D
- Qualsevol estrabisme manifest
- Qualsevol opacitat de medis > 1 mm de mida
- Ptosis amb una MRD <1mm (MRD: margin to reflex distance: mesura en mm des del reflex a la còrnia d'un llum fins al nivell del centre del marge de la parpella superior, mentre el pacient és en posició primària de mirada. S'utilitza per indicar el grau de ptosi o retracció palpebral)

2.4. Mecanismes ambliogènics

Les anomalies en el processament visual causades per la privació visual o la interacció anormal de la binocularitat poden induir ambliopia, caracteritzada per una menor agudeses visual i sensibilitat al contrast. Els nens amb ambliopia també presenten dèficits en la visió binocular, el color i la percepció de la forma (via parvocel·lular), la percepció del moviment i la integració del contorn (via magnocel·lular). En general, tenen una capacitat disminuïda per generar una representació tridimensional del món, necessària per la coordinació ull-mà, la lectura i la presa de decisions visuals. ¹²

El processament visual té lloc quan la codificació neuronal es transmet des de les cèl·lules del cos genicular lateral del tàlem fins al còrtex visual primari V1 (còrtex estriat). El còrtex estriat es troba al solc calcar del lòbul occipital (àrea de Broadmann 17), on es produeix la convergència binocular inhibidora i excitatòria.

Les connexions sinàptiques corticals integren una representació fragmentada d'una escena o objecte, creant una percepció visual que es pugui reconèixer. El color i la forma es perceben a través de la via ventral (cèl·lules parvocel·lulars) al lòbul temporal, mentre que la localització i el moviment es processen a través de la via dorsal al lòbul parietal.

El desenvolupament del sistema visual depèn completament dels estímuls visuals que indueixen l'elaboració de circuits neuronals. La maduració dels circuits neuronals s'inicia des

del naixement, amb un període sensible precoç entre els 4 i els 18 mesos i un període sensible tardà fins als 7 anys. Després dels 7 anys, hi ha una reducció significativa de la neuroplasticitat, una maduració macular, mielinització del nervi òptic, fusió d'imatges per a la visió binocular i formació de les columnes de dominància ocular en V1. Un cop passat aquest període, fins i tot si es corregeix la causa de l'ambliopia, és probable que un nen a partir dels de 8 anys tingui una reducció persistent de l'agudesesa visual i la sensibilitat al contrast.¹²

2.4.1. Privació visual

La privació visual, en la majoria dels casos, es causada per cataractes congènites que restringeixen l'entrada de l'estímul visual des del naixement o durant la primera infància¹³. És sabut que aquesta privació té un efecte diferent en el desenvolupament visual en comparació amb l'estrabisme o l'anisometropia, ja que sol estar associada amb majors pèrdues de sensibilitat al contrast i estereopsis.¹³

A més, mentre que l'ambliopia estràbica i anisometropica son habitualment unilaterals, l'ambliopia causada per una privació visual habitualment es bilateral en més de la meitat dels casos. Aquest fet te diferents efectes en la funció visual:

- L'ambliopia per privació visual unilateral resulta en pèrdues de sensibilitat al contrast més greus en l'ull afectat que la bilateral, degut a la competència binocular
- L'ambliopia per privació visual binocular crea més deficiències en tasques d'integració com la percepció global del moviment.¹³

2.4.2. Competència binocular

A més de la disminució d'agudesesa visual, l'ambliopia també s'acompanya d'una disfunció binocular com una estereoagudesesa nul.la o deteriorada i la supressió interocular. Aquest fet és degut a que la pèrdua de la visió binocular, en ambliopies estràbiques i anisometròpiques, implica la inhibició activa, o supressió, de les entrades corticals de l'ull ambliop. Rarament s'aconsegueix restablir una binocularitat normal després del tractament, encara que s'aconsegueixi una bona agudesesa visual.¹⁴

2.5. Classificació

Existeixen dues causes principals per les quals es desenvolupa l'ambliopia, i les podem classificar en orgàniques i funcionals.

2.5.1. Ambliopia orgànica

Es un tipus d'ambliopia a on la disminució de l'agudesia visual es deguda a processos patològics que alteren l'estructura cel·lular de la retina o de les vies visuals com ara coriorretinitis associada a la toxoplasmosis congènita, cicatrització macular a causa d'un traumatisme, retinoblastoma que afecta a la màcula, per una hipoplàsia o atrofia del nervi òptic, etc. La major part de les ambliopies orgàniques son permanents i irreversibles, però en alguns casos es pot obtenir una millora de la visió quan es tracten els problemes estructurals.¹⁵

2.5.2. Ambliopia funcional

Es tracta de la disminució d'agudesia visual d'un o ambdós ulls per a la qual no existeix una causa orgànica que ho justifiqui i, que en un període de temps determinat, pot arribar a resoldre's a través d'un tractament adequat en funció de l'edat. El grau d'aquest trastorn depèn de l'edat d'inici de l'ambliopia, la gravetat en l'alteració de la imatge retiniana, la duració d'aquesta alteració i de l'edat del pacient en el moment d'aplicar el tractament.

L'ambliopia funcional es subdivideix en:

- *Ambliopia estràbica*: En la majoria dels casos és unilateral i és provocada per la desviació d'un dels ulls. En aquest cas, el cervell rep dues imatges diferents, produint una diplopia intolerable, i desenvolupant un mecanisme de supressió de la imatge que prové de l'ull amb l'estrabisme, generant així l'ambliopia. Aquesta situació comporta una vulnerabilitat neuronal ja que el cervell no pot crear una combinació d'imatges dels dos ulls per generar una visió estereoscòpica.
- *Ambliopia refractiva*: Aquesta alteració sensorial es produeix per un error de refracció i per una diferència significativa en la magnitud d'aquest error entre ambdós ulls. En aquest darrer cas, el cervell rep dues imatges projectades de diferents nitidesa i qualitat òptica. Com més gran sigui la diferència en l'error

refractiu entre ambdós ulls, més diferent serà la nitidesa entre elles i, per tant, més difícil la fusió per crear una única imatge tridimensional. En aquest cas, també es genera supressió, que ve donada per la competència cortical que es produeix entre les potents connexions que s'aconsegueixen a través de l'ull no ambliop i les dèbils connexions que pot aconseguir l'ull ambliop. Els errors de refracció més freqüents amb un alt valor ambliogènic, de més a menys efecte, són la hipermetropia, l'astigmatisme i la miopia.¹⁶

- *Ambliopia per privació visual*: Es produeix una alteració de la funció del còrtex visual degut a la supressió i privació d'un ull que condueix a un deteriorament visual unilateral. Aquest deteriorament ve donat per una diferència en la magnitud de l'error refractiu entre ambdós ulls produint un cert grau de privació visual segons el grau d'ambliopia.

2.6. Opcions de tractament

L'estratègia per tractar l'ambliopia és proporcionar una imatge nítida a la retina de cada ull per evitar la supressió de l'ull ambliop. Hi ha diverses modalitats de tractament, com ara prescriure una correcció òptica adequada i proporcionar una teràpia d'oclusió per l'ull dominant dins del període sensible del desenvolupament visual. El tractament de l'ambliopia pot restaurar eficaçment la funció visual y desenvolupar una entrada sinàptica més extensa en el còrtex visual. El tractament de l'ambliopia s'ha d'iniciar el més aviat possible, ja que l'èxit d'aquest disminueix conforme augmenta l'edat dels infants.¹⁷

2.6.1. Correcció òptica

La correcció òptica de l'error refractiu és el primer pas per poder proporcionar una imatge clara a la retina dels dos ulls i, d'aquesta manera, millorar la AV en l'ull ambliop. Diversos estudis han avaluat que només amb una correcta compensació òptica es pot tractar l'ambliopia causada per una anisometropia¹⁸⁻¹⁹. Cotter et al van demostrar que, només amb la correcció òptica, la AV va millorar en ≥ 2 línies en el 77% dels pacients i va donar lloc a la resolució de l'ambliopia en un terç dels nens de 3 a 7 anys amb ambliopia anisometropia mai tractada. En la majoria dels casos a on es va resoldre amb la correcció òptica, es tractava d'una ambliopia moderada (AV 0.5 a 0.2), en graus majors d'ambliopia el tractament inicial amb ulleres va resultar en una millora de 3 línies d'AV en promig.¹⁹

2.6.2. Teràpia d'oclusió

L'ambliopia es considera un trastorn monocular a on el tractament estàndard durant els últims 250 anys ha sigut l'oclusió de l'ull no ambliop, mitjançant un pegat o l'oclusió, per estimular el seu ús. Amb aquest mètode es pot millorar l'agudes visual del 73% al 90% dels nens ambliops, però entre el 15% i el 50% no aconsegueixen una agudes visual normal fins i tot després d'anys de tractament.¹⁴

Un assaig del PEDIG va demostrar que el tractament d'oclusió de 6 hores al dia produïa una millora de AV similar a la que s'obté amb una oclusió a temps complet en nens de 3 a 7 anys d'edat amb ambliopia greu (AV 0.2 a 0.05)²⁰. En nens amb ambliopia moderada, la teràpia d'oclusió inicial durant 2 hores diàries va donar lloc a una millora de l'AV similar en magnitud a la millora produïda al prescriure 6 hores d'oclusió diària²¹. Després de 17 setmanes de tractament, els nens amb ambliopia greu van mostrar una mitja de 3,6 línies de millora amb 2 hores d'oclusió diària²². Per als nens amb ambliopia residual després del tractament amb correcció refractiva i oclusió de 2 hores, l'augment del temps d'oclusió diari a 6 hores va donar lloc a una mitjana d'1,2 línies de millora addicional estadísticament significativa a les 10 setmanes, en comparació amb una millora addicional mitjana de 0,5 línies quan es continua amb només 2 hores d'oclusió. La millora de ≥ 2 línies es va produir en el 40% dels participants després d'oclusions durant 6 hores davant del 18% dels que van continuar amb oclusions de 2 hores. Quan la visió a l'ull ambliop deixa de millorar amb 2 hores d'oclusió diària, es recomana augmentar la dosi d'oclusió diària a 6 hores per obtenir una millora més gran en AV²¹. A més, s'ha demostrat que per pacients de 7 a 17 anys, prescriure de 2 a 6 hores d'oclusió al dia junt amb activitats que estimulin el sistema visual, com la lectura, pot millorar la AV inclús si l'ambliopia ha sigut tractada anteriorment.²³

2.6.3. Penalització amb atropina

El tractament farmacològic que produeix l'atropina, produeix un desenfocament òptic a l'ull no ambliop i és un tractament útil pels nens que no milloren prou només amb ulleres o en els que compliment amb pegat és baix. S'ha demostrat que el benefici obtingut amb aquest tractament mitjançant atropina es manté estable fins als 15 anys d'edat²⁴ i funciona millor quan l'ull no ambliop es hipermetrop.²⁵

Tradicionalment, s'administrava una dosi diària d'atropina i s'ha demostrat que és tan eficaç com l'oclusió pel tractament inicial ²⁴. Així mateix, també s'ha demostrat que l'atropina a l'1% administrada dos dies consecutius per setmana durant 4 mesos, va ser tan efectiva com l'atropina 1% administrada una vegada al dia per l'ambliopia moderada, tractada durant 4 mesos. ²⁶

La penalització amb atropina va ser ben tolerada per part dels nens i la família, i té major compliment en comparació amb la teràpia d'oclusió degut a que el cost econòmic i l'impacte social és menor. Per aquest motiu, els estudis han recomanat que la penalització amb atropina s'hauria d'utilitzar com a tractament de primera línia per a l'ambliopia moderada. ²⁷

2.6.4. Penalització amb filtres Bangerter

Els filtres penalitzadors Bangerter, que es presenten en densitats graduades successives, es poden utilitzar per reduir l'agudesa visual de l'ull no ambliop a menys agudesa que l'ull ambliop, o a un nivell deficient d'agudesa visual en tots els casos. ²⁸

Tot i que el pegat i l'atropina estan ben establerts com a tractaments efectius per a l'ambliopia, també s'han utilitzat filtres o làmines Bangerter col·locats a la lent de les ulleres de l'ull no ambliop. Aquests filtres semitransparents van ser dissenyats com un mètode per modular el grau de privació de l'oclusió, produint un desenfocament difús de la imatge que degrada l'agudesa visual de l'ull no ambliop fins als nivells predits en ambliopies moderades.

Els filtres Bangerter s'han utilitzat principalment com a teràpia alternativa al tractament d'oclusió o atropina i els avantatges potencials d'utilitzar-los inclouen: la capacitat de canviar la densitat del filtre per modular el grau de desenfoc o degradació de la imatge, la possibilitat d'un millor compliment ja que el filtre s'aplica a les ulleres i no la pell, la possibilitat d'una major acceptació dels pares i dels nens donat que el filtre no és fàcilment evident per als observadors, i la possibilitat que el filtre pugui ser menys perjudicial per a la funció binocular. Els possibles desavantatges dels filtres són que les ulleres sempre s'han de portar correctament durant el tractament perquè és relativament fàcil mirar per sobre de les ulleres i és possible que no redueixin l'agudesa visual al nivell previst pel fabricant, ni de forma uniforme. ²⁹



El Pediatric Eye Disease Investigator Writing Group (PEDIG) va informar que el tractament amb filtre Bangerter és una opció viable a tenir en compte a l'hora d'iniciar el tractament de l'ambliopia moderada ²⁹, i és una tècnica eficaç ja que augmenta el compliment del pacient, la fusió (sensorial i motora) no s'interromp, no provoca canvis significatius en l'angle de visió i es pot utilitzar durant llargs períodes de temps. Fins i tot quan l'ambliopia és causada per estrabisme o anisometropia, els filtres Bangerter semblen ser útils per al tractament de casos lleus o moderats. ³⁰

2.6.5. Penalització òptica

És una alternativa útil a l'oclusió per al tractament de l'ambliopia i com a teràpia de manteniment després de l'oclusió. És especialment útil en casos d'incompliment en la teràpia d'oclusió. La clau principal per a l'acceptació del pacient és triar la quantitat mínima de penalització necessària, a l'hora que garanteix que el pacient canviï realment la fixació a l'ull ambliop. Es un mètode que s'utilitza en ambliopies lleus i moderades i consisteix en addicionar una lent positiva d'entre 1.00D a 1.50D a l'ull no ambliop per, d'aquesta manera, desenfocar la imatge.

La penalització òptica es pot escollir com a primera opció de tractament o com a alternativa després del fracàs del pegat, així com combinada amb altres modalitats de teràpia com ara l'atropina, ja que és un tractament eficaç quan la teràpia d'oclusió falla inicialment, i pot tenir un efecte més ràpid que la teràpia de penalització de modalitat única. A més, el seu efecte pot ser especialment útil en ambliopia anisometròpica. ²⁸



3. Introducció a l'estudi

3.1. Funcions visuals afectades

La visió binocular és la suma de l'equilibri sensorial i motor durant els primers mesos de vida i si hi ha alguna fallada anatòmico-fisiològica en aquesta fase de desenvolupament, es crea un desequilibri funcional entre tots dos ulls. Però, un bon equilibri anatòmic i fisiològic no és l'únic requisit per a una visió binocular funcional, també cal un desenvolupament correcte de totes les funcions monoculars per transformar la informació provinent de cadascuna en una percepció tridimensional. En l'ambliopia, aquestes funcions visuals es veuen afectades per la pobre qualitat de la imatge retiniana a l'ull ambliop, comportant un certa discapacitat visual que repercuteix en les diferents funcions visuals sensorials i motores.¹⁶

3.1.1. Funcions visuals sensorials

- *Acomodació:* Els nounats no utilitzen completament l'acomodació, ja que la seva profunditat d'enfocament és tan gran que la distància de fixació no comporta un augment de la visió borrosa i, per tant, no és necessària una resposta acomodativa. Aquesta gran profunditat d'enfocament es deu a un longitud axial curta, un diàmetre pupil·lar petit, la baixa densitat de cons a la fòvea i una disminuïda AV. A mesura que la profunditat de focus disminueix amb l'edat, la precisió de la resposta acomodativa augmenta i és quan al voltant dels 3 mesos, es produeix una millora notable de la precisió de l'acomodació en funció de l'estímul. Grans quantitats d'hipermetropia o miopia podrien retardar l'aparició de la resposta acomodativa precisa, ja que els petits esforços de resposta acomodativa inicials no aconseguen cap enfocament, augmentant d'aquesta manera el risc d'ambliopia.³¹

L'evidència suggereix que la resposta acomodativa és simètrica a cada ull, de manera que en l'anisometropia l'ull menys ametròpic és el que determina la quantitat de resposta acomodativa en comparació amb l'ull ambliop que es veu afectat. Aquesta inadequada resposta acomodativa de l'ull ambliop es podria atribuir a una reducció de l'agudesesa visual o una pèrdua sensorial a la regió central de la retina a causa de la privació de contrast monocular en

l'anisometropia. Això suggereix que ha d'existir un mecanisme mitjançant el qual sigui possible conduir l'acomodació a cada ull de forma independent.³²

- *Agudesa visual*: La degradació de l'agudesa visual, en un o ambdós ulls, és degut a la interrupció del desenvolupament visual normal en la infància i va acompanyat d'un o més factors ambliogènics que interfereixen en el desenvolupament de les vies visuals durant el període crític de maduració. La disminució de l'agudesa visual és causada per una diferència entre la qualitat de les imatges d'ambdós ulls, la qual cosa provoca una supressió de l'ull amb pitjor visió a causa d'estrabisme, anisometropia, cataracta, etc.³³
- *Sensibilitat al contrast*: La funció de la sensibilitat al contrast proporciona una representació del funcionament visual a diferents freqüències i és molt immadura al néixer, però es desenvolupa durant els primers mesos. Als 2 o 3 mesos sembla ser la d'un adult, però es desplaça cap a freqüències espacials més baixes³¹. Segons el PEDIG, la pèrdua de sensibilitat al contrast després del tractament de l'ambliopia estràbica i anisometròpica és lleugera en les freqüències espacials intermèdies i la distribució de la sensibilitat al contrast de l'ull ambliop és similar a la que es va informar per a les proves monoculars en nens normals de 10 anys.

Es suggereix que els pacients més joves, de 3 a < 5 anys en comparació amb els de 5 a < 7 anys, tenien més probabilitats de tenir una sensibilitat al contrast lleugerament millor a l'ull ambliop als 10 anys d'edat. Aquest efecte podria ser degut a una edat més jove al tractament que permeti un desenvolupament cortical més complet i una durada més curta del dèficit de visió.³⁴

3.1.2. Funcions visuals motores

- *Moviments de fixació*: És sabut que els nens amb ambliopia tenen inestabilitat de fixació, que sorgeix de l'alteració dels moviments fisiològics de fixació i el nistagmus. Durant un estudi recent, es va observar un augment de la inestabilitat de la fixació en pacients amb ambliopia anisometròpics, quan es presentaven contrastos més baixos a l'ull congènere.³⁵

- *Moviments sacàdics*: S'ha demostrat un dèficit significatiu en els moviments sacàdics de l'ull ambliop independentment de la etiologia de l'ambliopia, però estant associats a una pèrdua d'agudesesa visual. Aquest deteriorament es manifesta com un retràs a l'inici del moviment i una precisió reduïda en la localització de l'objecte, que podrien sorgir com resultat de dificultats per processar la informació sensorial i/o planificar la resposta motora.³⁶
- *Moviments de versió*
 - *Moviments de seguiment*: Impliquen moviments oculars conjugats que estableixen la imatge d'un objecte en moviment a la fòvea. Requereixen una estimació de la velocitat de l'objecte basada en l'entrada de la imatge retiniana i la transformació d'aquesta entrada sensorial en una sortida motora, és a dir, que coincideixi amb la velocitat ocular.
Un estudi va informar que els individus amb ambliopia anisomètrica mostren menors dèficits en els moviments de seguiment en l'ull ambliop en comparació amb els ambliops estràbics.³⁶
 - *Nistagmus optocinètic*: És un reflex visual que es pot induir des del naixement, però en nadons de 2 a 3 mesos es presenta una asimetria monocular a causa de la immaduresa i la resposta és molt més lenta o absent cap a fora (nasal-temporal) i cap amunt.
Això es degut a la deficiència de la binocularitat cortical i, al voltant dels 3 - 5 mesos d'edat, la simetria s'aconsegueix en ambdues direccions (nasal-temporal i temporal-nasal). Pacients amb anomalies binoculars com l'ambliopia mostren persistència en la resposta asimètrica.³⁷
- *Moviments de vergència*: Donat que la visió binocular està deteriorada en l'ambliopia, els moviments de convergència també es veuen afectats, però encara no s'han examinat nens amb aquestes característiques.³⁶
- *Estereopsis*: En condicions normals de visió quotidianes, la visió de les persones amb ambliopia està dominada per l'ull no ambliop o de millor agudesesa visual, per tant, es troba deteriorada la percepció estereoscòpica de la profunditat i

es tracta del dèficit més comú associat amb l'ambliopia en condicions de visió binocular. En general, una pitjor estereopsis sembla estar relacionada amb una pitjor agudesesa visual, però a diferència dels ambliops estràbics que no posseeixen estereoagudesesa, molts ambliops anisotròpics conserven un cert grau d'estereòpsia a freqüències espacials baixes al millorar l'agudesesa visual.³⁸

3.2. Recuperació de l'ull ambliop

3.2.1. Afectació de la imatge retiniana

La aniseiconia representa una barrera potencial a la neuroplasticitat que pot limitar els resultats visuals en nens amb ambliopia anisotròpica. La correcció òptica completa de l'error de refracció és el primer pas en el tractament estàndard de l'ambliopia, que corregeix l'enfoc de la imatge a la retina, però no té en compte les diferències de mida entre aquestes dues imatges (aniseiconia)³⁹. La diferència en el mida de les imatges entre el dos ulls dificulta la visió binocular i pot estimular encara més la supressió i conduir al desenvolupament de l'ambliopia.

En el context de l'anisometropia, l'aniseiconia pot resultar de diferències anatòmiques inherents (longitud axial i/o components refractius de l'ull), diferències en l'espai entre el fotoreceptors dels dos ulls i adaptacions corticals.⁴⁰

Els nens amb anisometropia no solen ser simptomàtics d'aniseiconia i això pot ser degut a adaptacions corticals com la supressió. Mentre que els pacients amb ambliopia anisotròpica i sense estrabisme sovint mostren nivells més baixos de supressió, la qual cosa permet funcions binoculars limitades com la fusió, una estereopsis grollera i una binocularitat reduïda.⁴⁰

Actualment s'ha obert un nou camí en la investigació de l'ambliopia unilateral sobre tractaments binoculars. Han demostrat que els mecanismes binoculars estan intactes, però es suprimeixen per fer front a imatges diferents als dos ulls. La supressió interocular desequilibrada deguda a la competència binocular associada a l'ambliopia es pot tractar ajustant el contrast de la imatge o la luminància presentada dicòpticament a cada ull, fins que la imatge d'un ull determinat esdevingui simultàniament visible i igualment destacada que la de l'altra.⁴⁰

3.2.2. Qualitat de la imatge retiniana en funció del rendiment acomodatiu

S'ha demostrat que l'estimulació de l'acomodació durant el temps d'oclusió millora l'agudesia visual en l'ambliopia. Cal tenir en compte que la resposta acomodativa està determinada principalment pel nivell d'enfocament a la fòvea. Per tant, la realització d'activitats de visió propera així com l'entrenament acomodatiu directe estan generant simultàniament algun tipus d'entrenament de fixació, encara que en alguns casos pot ser necessari un tractament actiu addicional amb mètodes pleòptics. Per tant, la teràpia d'oclusió combinada amb activitats properes no només pot afavorir una millora de l'agudesia visual sinó també en el rang acomodatiu i fins i tot en la sensibilitat al contrast, que normalment són deficientes en l'ull ambliop.⁴¹

3.2.3. Visió monocular i limitació de l'eficàcia del tractament

El tractament estàndard actual per a l'ambliopia implica la teràpia d'oclusió; és a dir, parxar l'ull amb millor agudesia per forçar l'ús de l'ull ambliop. No obstant això, els dèficits d'agudesia monocular persisteixen en el 15-50 % dels nens després del tractament, i els pacients sovint tenen dèficits en la funció visual binocular, com estereopsis reduïda o absent, supressió interocular i inestabilitat visual.⁴²

Una funció visual normal requereix de funcions visuals monoculares comparables, així com interaccions interoculars equilibrades. Estudis anteriors han documentat que l'ambliopia no només afecta a les funcions monoculares, sinó també a les interaccions interoculars entre l'ull ambliop i el contralateral⁴³. No és clar si els tractaments tradicionals poden recuperar les funcions monoculares i interoculars a l'ambliopia, però la majoria dels estudis anteriors s'han centrat en la qualitat de les funcions monoculares a l'ull ambliop, per exemple, agudesia visual i sensibilitat al contrast. Atès que les funcions monoculares d'un ull donat es provaven normalment quan l'ull no analitzat estava cobert amb un pegat opac, la interacció interocular estava minimitzada durant les proves.⁴⁴

En altres paraules, les funcions visuals monoculares aparentment normals durant el tractament de l'ambliopia tractada poden no ser necessàriament normals durant les funcions visuals diàries quan tots dos ulls estan oberts, presenten una luminància semblant i interactuen entre si.



Segons un estudi recent s'ha demostrat que, encara que l'oclusió a llarg termini pot recuperar algunes de les funcions visuals en pacients amb ambliopia (AV, baixa estereopsi i rivalitat binocular a baixes freqüències espacials), moltes altres funcions visuals binoculars segueixen sent deficientes, com ara la rivalitat binocular en altes freqüències espacials, la sumació interocular, etc. Els resultats d'aquest estudi suggereixen que el tractament d'oclusió per l'ambliopia no és suficient per recuperar totes les funcions visuals i seria necessari un tractament addicional per fer-ho amb un entrenament monocular i binocular estructurat.⁴⁵

4. Objectius

L'objectiu del present estudi observacional va ser avaluar els canvis en el rendiment acomodatiu dels nens amb ambliopia unilateral durant el tractament amb teràpia d'oclusió. Es van prendre les mesures d'agudeses visual, amplitud d'acomodació, flexibilitat acomodativa i retard acomodatiu durant la primera visita i es van repetir als 3 i als 6 mesos posteriors.

L'objectiu principal consistia en comparar el rendiment acomodatiu de l'ull ambliop amb el contra lateral del mateix subjecte i, alhora, amb els resultats dels ulls del grup control. Per, d'aquesta manera, determinar si tots els aspectes o habilitats acomodatives persisteixen estant afectades, milloren o arriben a normalitzar-se durant el tractament.

5. Mètode

5.1. Selecció de la mostra i criteris d'inclusió

L'estudi es va dur a terme d'acord amb els principis de la Declaració d'Hèlsinki.

La cohort d'estudi està formada per un grup experimental de 10 infants, d'entre 4 i 13 anys, atesos a l'Hospital Universitari Germans Trias i Pujol (HUGTP) amb un diagnòstic d'ambliopia i un grup control. En total es van avaluar 20 pacients, 10 no ambliops i 10 amb ambliopia unilateral. La mitjana d'edat \pm SD del grup experimental i del control van ser de $7,9 \pm 3,25$ i $7,9 \pm 0,99$ anys, respectivament. Tots els subjectes ambliops ($n=10$) eren anisometròpics.

Els criteris d'inclusió aplicats eren que els subjectes amb ambliopia unilateral havien de presentar una diferència interocular (IOD) en l'agudeses visual de ≥ 2 línies utilitzant el protocol ETDRS en ≥ 6 anys i HOTV en < 5 anys, en presència d'un factor ambliogènic: anisometropia ambliogènica

(hipermetropia anisometròpica equivalent esfèrica [SE] ≥ 1.50 D, miopia anisometròpica [SE] ≥ 1.00 D o astigmatisme anisometròpic ≥ 1.50 D)

En el moment de la visita de l'estudi cap subjecte, de la cohort d'estudi i del grup control, havia rebut tractament previ per a l'ambliopia, i tots van rebre les instruccions necessàries per iniciar la teràpia d'oclusió en funció del grau de l'ambliopia en aquell moment, junt amb la correcció refractiva adient en cada cas. Es van excloure els infants que ja rebien teràpia d'oclusió, aquells amb incapacitat per realitzar les probes clíniques relacionades amb l'estudi, els trastorns neurològics, el síndrome de Down, el retràs del desenvolupament, la cirurgia ocular prèvia i les condicions generals de salut i/o medicació que podrien afectar a l'acomodació, com ara l'atropina pel tractament de control de la miopia.

El grup control (N = 10) consistia en pacients que es visitaven a l'hospital per primera vegada o per una revisió anual de les seves ulleres. Els subjectes d'aquest grup tenien una agudes visual millor corregida igual o superior a 0.1 logMAR, simètrica ambdós ulls o ≤ 3 lletres en el test ETDRS amb una refracció no superior a [SE] $\leq \pm 2.00$ D esfèrica, ≤ 1.00 D d'astigmatisme i anisometropia menor a 1.00 D.

| Grup experimental | | | | |
|-------------------|--------|------|--------------------|---------------------------|
| Subjecte | Gènere | Edat | EE Ull ambliop (D) | EE Ull contra lateral (D) |
| 1 | F | 8 | +2,25 | +0,75 |
| 2 | F | 10 | +3,63 | +0,5 |
| 3 | M | 6 | -1 | 0 |
| 4 | F | 7 | +3,50 | +2,5 |
| 5 | M | 13 | +2,88 | +1,25 |
| 6 | F | 4 | +4,50 | +2 |
| 7 | F | 8 | -1,25 | -0,38 |
| 8 | F | 4 | +2,63 | +0,50 |
| 9 | M | 13 | +2,38 | 0 |
| 10 | M | 6 | +3,13 | +0,75 |

| Grup control | | | |
|--------------|--------|------|-----------|
| Subjecte | Gènere | Edat | EE UE (D) |
| 1 | F | 8 | +0,875 |
| 2 | F | 9 | +0,375 |
| 3 | M | 6 | 0 |
| 4 | M | 7 | +0,75 |
| 5 | M | 8 | +0,75 |
| 6 | M | 8 | +0,25 |
| 7 | M | 9 | -1,63 |
| 8 | M | 7 | -0,25 |
| 9 | F | 8 | +0,25 |
| 10 | F | 9 | +0,50 |

Taula 1: Resum del nombre de nens del grup d'estudi i del grup control

5.2. Condicions experimentals i protocol

Les mesures van ser realitzades pel mateix examinador al centre hospitalari (HUGTP). L'estudi es va dur a terme amb un protocol escrit que es va establir abans d'iniciar l'estudi i que descriu a continuació.

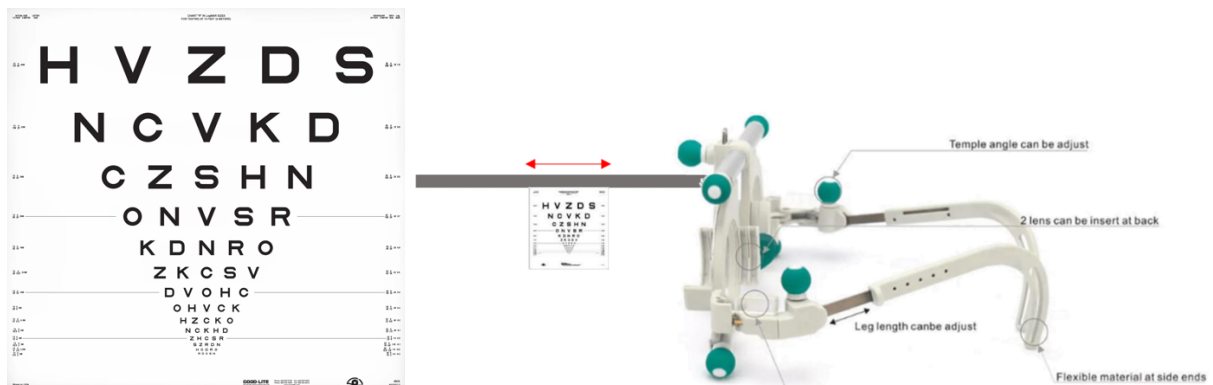
Tots els infants es van sotmetre a un examen oftalmològic pediàtric exhaustiu que incloïa l'agudesia visual subjectiva millor corregida, una refracció cicloplègica (realitzada aquell dia o en les últimes 3 setmanes), l'amplitud d'acomodació, la flexibilitat acomodativa i el retard acomodatiu. Les proves i mesures d'estudi es van realitzar amb subjectes que portaven la seva correcció refractiva almenys durant dues setmanes, per tal d'obtenir un rendiment acomodatiu habitual.

5.3. Procediment de mesura

L'agudes visual monocular es va mesurar mitjançant el protocol ATS ETDRS/HOTV en un sistema electrònic de prova d'agudes visual a una distància de 2 metres, utilitzant optotips individuals de logMAR amb barras d'aglomeració.

El retard acomodatiu es va mesurar a 40 cm mitjançant retinoscòpia dinàmica amb un estímul acomodatiu d'agudes visual decimal 0,7.

L'amplitud d'acomodació es va mesurar monocularment amb el mètode de "l'allunyament" o Push-down ⁴⁶, mitjançant una cinta mètrica enganxada a la ullera de prova amb un estímul acomodatiu d'agudes visual en funció de l'ull d'estudi.



Imatge 1: Test ETDRS i ullera de prova utilitzades per dur a terme les mesures de L'AA

Finalment, la flexibilitat acomodativa es va mesurar de manera monocular, començant per l'ull ampliop, amb un flipper de +2.00/-2.00 i mitjançant una carta de Hart amb un estímul acomodatiu d'agudes visual en funció de l'ull d'estudi, que es va calcular mitjançant les fórmules:

$$\frac{D_E}{AV_D} = AV_M$$

A on D_E es la distància d'examen en metres (0.4 m), AV_D es l'agudes visual decimal i AV_M es l'agudes visual en notació "M"

Per saber la mida de la lletra que corresponia a cada agudesa visual es va calcular amb la fórmula:

$$N = AV_M \cdot 8$$

A on N es la mida que ha de tenir la lletra al document word i AV_M es l'agudesa visual a la que volem que correspongui l'estímul en notació M (obtinguda a la fórmula anterior).

5.4. Valors de normalitat

5.4.1. Agudesa visual

Es sabut que l'agudesa visual es desenvolupa des de que el nen neix fins aproximadament els 7-8 anys, quan arriba al nivell d'un adults. Segons M. Mercante Alcantara ⁴⁷, l'agudesa visual normal segons l'edat de l'infant es la següent:

| Edat (anys) | AV decimal | AV logMAR |
|-------------|------------|-----------|
| 1 | 0,14 | 0,85 |
| 2 | 0,41 | 0,38 |
| 3 | 0,43 | 0,37 |
| 4 | 0,50 | 0,30 |
| 5 | 0,60 | 0,20 |
| 6 | 0,66 | 0,16 |
| 7 – 8 | 1,00 | 0 |

Taula 2: Resum valors de normalitat d'AV segons l'edat del pacient, segons M. Mercante Alcantara (<https://www.pediatriaintegral.es/publicacion-2018-01/ambliopia-y-estrabismo/>) ⁴⁷

5.4.2. Amplitud d'acomodació

L'amplitud d'acomodació es descriu com la quantitat d'acomodació, en diòptries, necessària per enfocar clarament un objecte des de l'infinít fins al punt més proper possible. Aquesta funció està present fins a cert punt des del naixement i millora ràpidament en els primers 6 mesos de vida ⁴⁸.

Al 1915 Duane va presentar un resultat d'amplitud acomodativa en subjectes de 8 a 80 anys ⁴⁹ i més tard, al 1950, una fórmula basada en les dades de Duane i estudiada posteriorment per Hoffstetter ⁵⁰, prediu el rang d'amplitud acomodativa amb les fórmules:

$$AA_{MIN} = 15 - (0,25 \cdot edat)$$

$$AA_{MITJ} = 18,5 - (0,30 \cdot edat)$$

$$AA_{MAX} = 25 - (0,40 \cdot edat)$$

A on AA_{MIN} és l'amplitud d'acomodació mínima AA_{MITJ} és l'amplitud d'acomodació mitja, i AA_{MAX} és l'amplitud d'acomodació màxima segons l'edat

Si calculem l'amplitud d'acomodació, en el rang d'edat d'estudi (4-13 anys), mitjançant aquest mètode obtenim els següents resultats:

| Edat | AA mínima (D) | AA mitja (D) | AA màxima (D) |
|------|---------------|--------------|---------------|
| 4 | 14 | 17,30 | 23,40 |
| 5 | 13,75 | 17 | 23 |
| 6 | 13,50 | 16,70 | 22,60 |
| 7 | 13,25 | 16,40 | 22,20 |
| 8 | 13 | 16,10 | 21,80 |
| 9 | 12,75 | 15,80 | 21,40 |
| 10 | 12,50 | 15,50 | 21 |
| 11 | 12,25 | 15,20 | 20,60 |
| 12 | 12 | 14,90 | 20,20 |
| 13 | 11,75 | 14,60 | 19,80 |

Taula 3: Resum valors de normalitat d'AA segons Hoffstetter

En l'any 2014 es va dur a terme un estudi a on es va determinar l'amplitud d'acomodació de manera subjectiva, en nens d'entre 5 i 19 anys, amb quatre procediments diferents. En el grup de 5 a 9 anys es va obtenir una mitjana d'amplitud d'acomodació de 12,39 D, respecte al grup de 10 a 14 anys que va ser de 12,51 D. ⁵¹

5.4.3. Flexibilitat d'acomodació

La flexibilitat d'acomodació es defineix com la capacitat de canviar ràpidament la potència del cristallini per enfocar a diverses distàncies d'enfoc mantenint un angle de convergència requerit (binocularment) o eliminant la influència de la convergència (monocular). Aquesta habilitat és important quan es canvia la fixació de prop a l'infinit i a la inversa ⁴⁸.

S'ha determinat que els valors normals de flexibilitat d'acomodació, amb lents de $\pm 2D$, en infants de 6 anys és de 5,5 cicles per minut (cpm), en infants de 7 anys és de 6,5 cpm i en infants d'entre 8 i 12 anys és d'entre 5 a 7 cpm amb una desviació estàndard de 2,5D en tots els casos. ⁵²

5.4.4. Retard acomodatiu

Habitualment, la resposta acomodativa és menor a l'estímul acomodatiu (demanda), i això es considera normal a causa de la profunditat de camp, el qual permet veure un objecte clar sense necessitat de fer ús de l'acomodació. Aquesta diferència (Retard acomodatiu) es considera normal quan és entre +0,25D a +0,75D (mitjana +0,50D). Aquests valors són citats per diversos autors ⁵³⁻⁵⁴⁻⁵⁵ i deriven del treball realitzat per Rouse, Hutter i Shiftlett al 1984 ⁵⁶ en el qual van avaluar el retard acomodatiu emprant el Mètode d'estimació monocular (MEM)

6. Resultats

Es van avaluar un total de 20 pacients, 10 no ambliops i 10 amb ambliopia anisomètrica. La mitjana d'edat \pm SD dels pacients ambliops i de control va ser de $7,9 \pm 3,25$ i $7,9 \pm 0,99$ anys, respectivament i no hi havia diferències significatives entre els dos grups ($p < 0,05$). Tots els subjectes ambliops ($n=10$) eren anisometròpics i l'equivalent esfèric (SE) de la refracció en els ulls ambliops va ser significativament diferent a la dels ulls no ambliops ($p < 0,05$). Els nens del grup control no tenien diferència interocular en l'equivalent esfèric ($p > 0,05$); la mitjana \pm SD SE va ser de $0,16 \pm 0,81$ D en l'ull dret i $0,19 \pm 0,73$ D en l'ull esquerra. Durant tot l'estudi es van fer servir els resultats de l'ull esquerra en el grup control.

Durant la primera visita la AV mitjana de lluny \pm SD en l'ull ambliop, l'ull contra lateral i els control va ser de $0,36 \pm 0,14$ logMAR, $0,04 \pm 0,02$ logMAR i $0,02 \pm 0,02$ logMAR, respectivament.

La mitjana d'agudesa visual en els ulls ambliops va ser significativament pitjor que en l'ull contra lateral i en els del grup control ($p < 0,05$).

L'amplitud d'acomodació \pm SD en l'ull ambliop, l'ull contra lateral i els control va ser de $15,19 \pm 5,05$ D, $18,34 \pm 5,06$ D i $14,44 \pm 1,56$ D, respectivament. La mitjana d'amplitud d'acomodació en els ulls ambliops va ser significativament menor que en l'ull contra lateral, però no es va trobar diferència estadísticament significativa ($p > 0,05$) amb els del grup control ($14,44 \pm 1,56$ D).

La mitjana de la flexibilitat d'acomodació \pm SD en l'ull ambliop, l'ull contra lateral i els control va ser de $4,1 \pm 2,5$ cpm, $9,9 \pm 4,2$ cpm i $13,5 \pm 3,72$ cpm, respectivament. La mitjana de la flexibilitat d'acomodació en els ulls ambliops va ser significativament menor que en l'ull contra lateral i en els del grup control ($p < 0,05$).

Finalment, la mitjana del retard acomodatiu (MEM) \pm SD en l'ull ambliop, l'ull contra lateral i els control va ser de $1,35 \pm 0,34$ D, $1,05 \pm 0,26$ D i $0,9 \pm 0,21$ D, respectivament. La mitjana del retard acomodatiu en els ulls ambliops va ser significativament major que en l'ull contra lateral i en els del grup control ($p < 0,05$).

| | Ull ambliop | Ull contra lateral | UE Grup control |
|-------------------------|------------------|--------------------|------------------|
| AV (logMAR) | $0,36 \pm 0,14$ | $0,04 \pm 0,02$ | $0,02 \pm 0,02$ |
| AA (D) | $15,19 \pm 5,05$ | $18,34 \pm 5,06$ | $14,44 \pm 1,56$ |
| Flex. Acc. (cpm) | $4,1 \pm 2,5$ | $9,9 \pm 4,2$ | $13,5 \pm 3,72$ |
| MEM (D) | $1,35 \pm 0,34$ | $1,05 \pm 0,26$ | $0,9 \pm 0,21$ |

Taula 4: Resultats de l'AV, AA, Flex. Acc i MEM \pm SD després de la 1a visita

| | Ull ambliop – Ull contra lateral | Ull ambliop – UE grup control |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| AV (logMAR) | $P = 0,0001^*$ | $P = < 0^*$ |
| AA (D) | $P = 0,0055^*$ | $P = 0,6829$ |
| Flex. Acc. (cpm) | $P = 0,0019^*$ | $P = < 0^*$ |
| MEM (D) | $P = 0,0301^*$ | $P = 0,0027^*$ |

Taula 5: Resultats de significancia dels valors "p" al comparar les mitjanes de l'ull ambliop amb el contra lateral i l'UE del grup control de l'AV, AA, Flex. Acc i MEM després de la 1a visita

Als tres mesos posteriors al tractament d'oclusió, la AV mitjana de lluny \pm SD en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $0,22 \pm 0,12$ logMAR i $0,02 \pm 0,03$ logMAR, respectivament. La mitjana d'agudesa visual en els ulls ambliops va ser significativament menor ($p < 0,05$) que en l'ull contra lateral i en els del grup control ($0,02 \pm 0,02$ logMAR).

L'amplitud d'acomodació \pm SD en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $16,11 \pm 4,36$ D i $18,73 \pm 3,98$ D, respectivament. La mitjana d'amplitud d'acomodació en els ulls ambliops va ser significativament menor que en l'ull contra lateral ($p < 0,05$), però no es va trobar diferència estadísticament significativa ($p > 0,05$) amb els del grup control ($14,44 \pm 1,56$ D).

La flexibilitat d'acomodació \pm SD en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $6,6 \pm 2,27$ cpm i $10,3 \pm 2,54$ cpm, respectivament. La mitjana de la flexibilitat d'acomodació en els ulls ambliops va ser significativament menor ($p < 0,05$) que en l'ull contra lateral i en els del grup control ($13,5 \pm 3,72$ cpm).

Finalment, el retard acomodatiu \pm SD en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $1,23 \pm 0,28$ D i $1,03 \pm 0,18$ D, respectivament. La mitjana del retard acomodatiu en els ulls ambliops va ser significativament major ($p < 0,05$) que en l'ull contra lateral i en els del grup control ($0,9 \pm 0,21$ D)

| | Ull ambliop | Ull contra lateral | Grup control |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| AV (logMAR) | $0,22 \pm 0,12$ | $0,02 \pm 0,03$ | $0,02 \pm 0,02$ |
| AA (D) | $16,11 \pm 4,36$ | $18,73 \pm 3,98$ | $14,44 \pm 1,56$ |
| Flex. Acc. (cpm) | $6,6 \pm 2,27$ | $10,3 \pm 2,54$ | $13,5 \pm 3,72$ |
| MEM (D) | $1,23 \pm 0,28$ | $1,03 \pm 0,18$ | $0,9 \pm 0,21$ |

Taula 6: Resultats de l'AV, AA, Flex. Acc i MEM \pm SD després de la 2a visita, als 3 mesos

| | Ull ambliop – Ull contra lateral | Ull ambliop – UE grup control |
|-------------------------|---|--------------------------------------|
| AV (logMAR) | $P = 0,0014^*$ | $P = 0,0009^*$ |
| AA (D) | $P = 0,0340^*$ | $P = 0,3178$ |
| Flex. Acc. (cpm) | $P = 0,0103^*$ | $P = 0,0002^*$ |
| MEM (D) | $P = 0,0031^*$ | $P = 0,0037^*$ |

Taula 7: Resultats de significança del valors "p" al comparar les mitjanes de l'ull ambliop amb el contra lateral i l'UE del grup control de l'AV, AA, Flex. Acc i MEM després de la 2a visita, als 3 mesos

Als sis mesos posteriors al tractament d'oclusió, la AV mitjana de lluny \pm SD en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $0,13 \pm 0,08$ logMAR i $0,02 \pm 0,02$ logMAR, respectivament. La mitjana d'agudesa visual en els ulls ambliops va ser significativament pitjor ($p < 0,05$) que en l'ull contra lateral i en els del grup control ($0,02 \pm 0,02$ logMAR).

L'amplitud d'acomodació \pm SD en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $18,48 \pm 3,79$ D i $20,30 \pm 2,73$ D, respectivament. En la mitjana d'amplitud d'acomodació en els ulls ambliops no es va trobar diferència estadísticament significativa amb l'ull contra lateral ($p > 0,05$), però va ser significativament major ($p < 0,05$) amb els del grup control ($14,44 \pm 1,56$ D).

La flexibilitat d'acomodació \pm SD en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $11 \pm 1,83$ cpm i $12,3 \pm 2$ cpm, respectivament. En la mitjana de la flexibilitat d'acomodació en els ulls ambliops no es va trobar diferència estadísticament significativa amb l'ull contra lateral ($p > 0,05$), però va ser significativament menor ($p < 0,05$) amb els del grup control ($13,5 \pm 3,72$ cpm).

Finalment, el retard acomodatiu \pm SD MEM en l'ull ambliop i l'ull contra lateral va ser de $0,9 \pm 0,13$ D i $0,83 \pm 0,12$ D, respectivament. No es va trobar diferència estadísticament significativa ($p > 0,05$) en la mitjana del retard acomodatiu en els ulls ambliops, l'ull contra lateral i en els del grup control ($0,9 \pm 0,21$ D).

| | Ull ambliop | Ull contra lateral | Grup control |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| AV (logMAR) | $0,13 \pm 0,08$ | $0,02 \pm 0,02$ | $0,02 \pm 0,02$ |
| AA (D) | $18,48 \pm 3,79$ | $20,30 \pm 2,73$ | $14,44 \pm 1,56$ |
| Flex. Acc. (cpm) | $11 \pm 1,83$ cpm | $12,3 \pm 2$ | $13,5 \pm 3,72$ |
| MEM (D) | $0,9 \pm 0,13$ | $0,83 \pm 0,12$ | $0,9 \pm 0,21$ |

Taula 8: Resultats de l'AV, AA, Flex. Acc i MEM \pm SD després de la 3a visita, als 6 mesos

| | Ull ambliop – Ull contra lateral | Ull ambliop – UE grup control |
|-------------------------|---|--------------------------------------|
| AV (logMAR) | P = 0,0032* | P = 0,0030* |
| AA (D) | P = 0,0657 | P = 0,0239* |
| Flex. Acc. (cpm) | P = 0,0768 | P = 0,0374* |
| MEM (D) | P = 0,1934 | P = 1 |

Taula 9: Resultats de significança dels valors “p” al comparar les mitjanes de l’ull ambliop amb el contra lateral i l’UE del grup control de l’AV, AA, Flex. Acc i MEM després de la 3a visita, als 6 mesos.

Al comparar les mitjanes dels resultats de l’ull contra lateral amb els ulls del grup control, no es troba diferència estadísticament significativa en l’agudesa visual, ni en la flexibilitat acomodativa, ni en el retard acomodatiu ($p > 0,05$), però sí en l’amplitud d’acomodació ($p < 0,05$)

| | Ull contra lateral – UE grup control |
|-------------------------|---|
| AV (logMAR) | P = 0,6733 |
| AA (D) | P = 0,0002* |
| Flex. Acc. (cpm) | P = 0,3809 |
| MEM (D) | P = 0,3419 |

Taula 10: Resultats de significança dels valors “p” al comparar les mitjanes de l’ull contra lateral i l’UE del grup control de l’AV, AA, Flex. Acc i MEM després de la 3a visita, als 6 mesos

Si comparem l’evolució de les mitjanes dels resultats dels ulls ambliops al llarg dels sis mesos de tractament en les diferents proves, observem que en el cas de l’agudesa visual existeix una diferència estadísticament significativa ($p < 0,05$) des de la primera visita ($0,36 \pm 0,14$ logMAR) respecte als 3 mesos posteriors ($0,22 \pm 0,12$ logMAR), però no es va trobar diferència significativa ($p > 0,05$) en comparació amb la última visita ($0,13 \pm 0,08$ logMAR).

En el cas de la flexibilitat acomodativa també existeix una diferència estadísticament significativa ($p < 0,05$) des de la primera visita ($4,1 \pm 2,5$ cpm) respecte als 3 mesos posteriors ($6,6 \pm 2,27$ cpm) i respecte a la última visita ($11 \pm 1,83$ cpm)

En el retard acomodatiu MEM, no es va observar diferència estadísticament significativa ($p > 0,05$) des de la primera visita ($1,35 \pm 0,34$ D) respecte als 3 mesos posteriors ($1,23 \pm 0,28$ D), però si es va trobar una diferència significativa ($p < 0,05$) des de la segona visita ($1,23 \pm 0,28$ D) respecte a la última ($0,9 \pm 0,13$ D).

Per últim, en l'amplitud d'acomodació no es van trobar diferències estadísticament significatives ($p > 0,05$) des de la primera visita ($15,19 \pm 5,05$ D) respecte als 3 mesos posteriors ($16,11 \pm 4,36$ D), però si es va trobar una diferència significativa ($p < 0,05$) des de la segona visita ($16,11 \pm 4,36$ D) respecte a la última ($18,48 \pm 3,79$ D).

| | 1 ^o visita – 3 mesos | 3 mesos – 6 mesos | 1 ^o visita – 6 mesos |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| AV (logMAR) | P = 0,0335* | P = 0,0599 | P = 0,0003* |
| AA (D) | P = 0,2826 | P = 0,0015* | P = 0,0125* |
| Flex. Acc. (cpm) | P = 0,0314* | P = 0,0002* | P = < 0* |
| MEM (D) | P = 0,3759 | P = 0,0033* | P = 0,0009* |

Taula 11: Resultats de significança dels valors “p” al comparar les mitjanes de l'evolució de l'ull ambliop en les diferents visites de l'AV, AA, Flex. Acc i MEM.

6.1. Resum de resultats

1. Al comparar la mitjana d'agudeses visual dels ulls ambliops al cap dels 6 mesos de tractament, amb els ulls contra laterals i els control, observem que aquesta encara es significativament pitjor ($p < 0,05$). Però, si comparem l'evolució del valor de l'AV dels ulls ambliops al llarg de tot el tractament (6mesos), s'observa una millora significativa, que sobretot es produeix durant els 3 primers mesos.
2. Respecte a la flexibilitat d'acomodació monocular, la seva evolució de millora ja va ser significativa ($p < 0,05$) als 3 mesos posteriors al tractament i el nombre de cicles per minut (cpm) van continuar augmentant, conforme avançava el tractament d'oclusió fins als 6 mesos. De tota manera, el resultat final de flexibilitat d'acomodació monocular en el grup ambliop va ser significativament inferior ($p < 0,05$) al del grup control, però no hi va haver diferència significativa ($p > 0,05$) amb el resultat del grup contra lateral.



3. En el cas del retard acomodatiu (MEM), no va ser fins als 6 mesos quan es va observar una diferència significativa ($p < 0,05$) en els resultats, és a dir, el retard acomodatiu del grup ambliop va disminuir significativament a partir de la segona visita i ja no es van trobar diferències estadísticament significatives ($p > 0,05$) en comparació amb el grup de l'ull contra lateral i del control, en la 3a visita, als 6 mesos.
4. En quant a l'amplitud d'acomodació, la mitjana de l'AA dels ulls ambliops millora significativament al cap dels 6 mesos de tractament, però aquesta millora és sobretot a partir dels 3 mesos. Cal indicar que els resultats d'AA dels ulls ambliops van ser significativament més pitjors comparats amb els del grup d'ull contra lateral a la primera i segona visita, però als 6 mesos, ja van millorar significativament. En canvi, no es van trobar diferències estadísticament significatives ($p > 0,05$) entre els ulls ambliops a la primera i segona visita respecte als ulls del grup control, donat que els resultats d'AA a ambdós grups són baixos. Al cap de sis mesos, la mitjana dels resultats d'AA dels ulls ambliops van arribar a ser significativament superiors als del grup control.

7. Discussió i conclusions

En aquest estudi, es buscava avaluar si el rendiment acomodatiu monocular mitjà en l'ull ambliop milloraria conforme millorava l'AV i avançava el tractament d'oclusió en l'ambliopia unilateral. La cohort d'estudi va incloure nens amb ambliopia moderada i lleu amb una duració del tractament amb pegat de 6 mesos. En comparació amb els nens del grup control, inicialment els nens amb ambliopia van mostrar un rendiment acomodatiu reduït tant en l'ull contra lateral com en l'ull ambliop en visió monocular.

S'han suggerit dues hipòtesis pel que fa a l'etiologia del baix rendiment acomodatiu monocular a l'ull ambliop⁵⁷⁻⁵⁸⁻⁵⁹. La hipòtesis motora prediu una ineficiència de la sortida de la via eferent del sistema acomodatiu, però aquesta hipòtesi no està recolzada per altres estudis que demostren respostes més precises de l'ull ambliop en condicions de visió binocular⁶⁰, la qual cosa indica que l'ull ambliop es capaç de millorar la precisió de la resposta acomodativa. En aquest estudi, juntament amb estudis anteriors⁶¹⁻⁶², es recolza la hipòtesi sensorial en la que es suggereix que el rendiment acomodatiu millora quan també ho fa l'entrada sensorial de l'estímul, és a dir, quan millora l'agudesesa visual.



Si ens basem en la hipòtesis sensorial, es podria predir que el rendiment acomodatiu en condicions monoculars milloraria quan l'AV de l'ull ambliop millorés amb el tractament d'oclusió, però aquesta relació no es va veure en tots els participants. En general, el rendiment acomodatiu va millorar a mesura que augmentava l'AV en l'ull ambliop, però també vam observar a alguns participants els quals no va millorar l'AV, o ho va fer molt poc, i en canvi el rendiment acomodatiu va continuar millorant. Donada la variabilitat de les dades i la tendència de que el rendiment acomodatiu millori conforme millora l'AV, ens podríem preguntar si es probable que el rendiment acomodatiu tingui un impacte en l'èxit del tractament d'oclusió en l'ambliopia. Com que la baixa capacitat d'acomodació en els ulls ambliops podria ser una conseqüència directa de la disminució de visió, es podria argumentar que a mesura que la visió comença a millorar amb la teràpia d'oclusió, el rendiment acomodatiu monocular durant el tractament, també millora.

Durant aquest estudi, tot i la petita mostra que es va estudiar, podem observar una millora significativa en la mitjana de l'agudesia visual de l'ull ambliop ($0,13 \pm 0,08$ logMAR respecte a $0,36 \pm 0,14$ logMAR), durant els 6 mesos de tractament d'oclusió, encara que continuï sent significativament pitjor que la del grup contra lateral i la del control. A més, també està una mica per sota dels valors de normalitat esperats per l'edat (0 logMAR), probablement pel fet que encara no està prou millorada i necessita seguir amb la teràpia d'oclusió. Segons un estudi en nens de 15 anys que van ser tractats d'ambliopia moderada abans dels 7 anys, es va demostrar que el resultat en AV es similar independentment del tractament inicial amb atropina o pegats.²⁴ També es notable la millora significativa de la flexibilitat acomodativa al llarg del tractament ($11 \pm 1,83$ cpm respecte a $4,1 \pm 2,5$ cpm), arribant a igualar-se amb la mitjana de flexibilitat acomodativa del grup de l'ull contra lateral i superar els valors de normalitat per l'edat ($6,5 \pm 2,5$ cpm). Tot i així, va ser significativament inferior al del grup control, ja que la mitjana de flexibilitat acomodativa en aquest grup va partir d'uns resultats superiors als del grup ambliop i també als del grup contralateral.

En quant a l'amplitud d'acomodació, la mitjana de l'AA dels ulls ambliops millora significativament al cap dels 6 mesos de tractament, però aquesta millora és sobretot a partir dels 3 mesos. Cal indicar que els resultats d'AA dels ulls ambliops van ser significativament pitjors comparats amb els del grup d'ull contra lateral a la primera i segona visita, però no al cap de 6 mesos, perquè ja van millorar molt significativament.



En canvi, no es van trobar diferències estadísticament significatives ($p > 0,05$) entre els ulls ambliops a la primera i segona visita respecte als ulls del grup control, donat que els resultats d'AA a ambdós grups són baixos. Al cap de sis mesos, la mitjana dels resultats d'AA dels ulls ambliops van arribar a ser significativament superiors en mitjana als del grup control

En els resultats de l'amplitud d'acomodació, sorprenentment, no es va trobar una diferència significativa de la mitjana de l'AA des de l'inici del tractament amb els resultats del grup control, encara que sí que eren significativament inferiors que la mitjana de l'AA del grup de l'ull contra lateral.

En l'evolució de la millora de l'AA, als tres mesos posteriors al tractament, encara no s'observava una millora significativa comparat amb els resultats de l'AA del grup contraletaral, però sí de la segona a la tercera visita, on van demostrar resultats similars d'AA als del grup de l'ull contra lateral, la qual cosa indica que la mitjana de l'amplitud d'acomodació en els dos grups és similar, que fins i tot arriba a un valor superior en mitjana al esperat per l'edat de Hoffsteter (16,10D). Comparat amb els resultats del grup control van acabar obtenint resultats significativament millors que els del grup controls.

No sabem ben bé perquè els resultats de l'amplitud d'acomodació en el grup d'ull control són inesperadament baixos (encara que dins de valors de normalitat esperats per l'edat) comparats als del grup de l'ull contralateral, ja que la resta de funcions acomodatives mesurades, en el grup control estan dins dels valors esperats. Per una banda, l'edat dels participants en el grup experimental i el grup control no són significativament diferents, 7,9 anys de mitjana en ambdós grups, però la desviació estàndard és molt més gran en el grup experimental (SD: 3,25 anys, comparat amb SD: 0,99 anys en el grup control). Caldria contemplar la possibilitat que l'edat hagi jugat un paper en la col·laboració d'alguns infants més petits (en el grup control) a l'hora de prendre la mesura.

Per altra banda, s'ha descrit l'efecte Hawthorne⁶³: un fenomen en el qual els participants canvien la seva conducta degut a l'atenció que reben, és a dir, els participants del grup experimental poden sentir-se més motivats a l'hora de col·laborar en la mesura de l'AA ja que reben una atenció especial, donat que estaven implicats en l'estudi en qüestió.



En el cas del retard acomodatiu MEM, podríem dir que es va situar dins dels valors esperats, ja que es similar a la trobada en altres estudis ⁶⁴ i a més, no va haver-hi diferència significativa respecte a l'ull contra lateral ni als ulls del grup control. En canvi, sembla com si aquesta habilitat de la funció acomodativa fos l'última en normalitzar-se i, fins i tot, podríem arribar a pensar que pot ser un signe que ens indiqui que el rendiment acomodatiu ja està recuperat en un ull ambliop anisotròpic o que potser el retard acomodatiu precisa abans del previ desenvolupament de l'agudesia visual per normalitzar-se.

Aquest estudi va determinar que en nens amb ambliopia unilateral anisotròpica de 4 a 13 anys el rendiment acomodatiu en els ulls ambliops era significativament menor, sota condicions de visió monoculars, que els seus ulls contra laterals i els ulls dels subjectes de control. Després de la teràpia d'oclusió que es va dur a terme durant 6 mesos, es va observar que algunes habilitats acomodatives milloren significativament abans que d'altres i que ho fan, en general, a mida que millora l'agudesia visual. La flexibilitat acomodativa és la funció acomodativa que inicia una millora significativa abans que les altres i de manera progressiva fins al final del tractament. L'AV també millora significativament de forma temprana per continuar més lentament. L'amplitud d'acomodació i el retard acomodatiu (MEM) ho fan a partir del tercer mes de tractament d'oclusió de forma molt significativa.

En conclusió, el tractament d'oclusió millora la capacitat acomodativa als ulls ambliops. Aquesta millora en el rendiment acomodatiu pot estar associada amb el desenfocament de la imatge de la retina a l'ull ambliop i, per això, millora a la vegada que també ho fa la imatge retiniana mitjançant la teràpia d'oclusió amb pegats.

8. Bibliografia

1. Papageorgiou, E., Asproudis, I., Maconachie, G., Tsironi, E. E., & Gottlob, I. (2019). The treatment of amblyopia: current practice and emerging trends. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv fur klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 257(6), 1061–1078. <https://doi.org/10.1007/s00417-019-04254-w>
2. Alatawi, A., Alali, N., Alamrani, A., Hashem, F., Alhemaidi, S., Alreshidi, S., & Albalawi, H. (2021). Amblyopia and Routine Eye Exam in Children: Parent's Perspective. *Children (Basel, Switzerland)*, 8(10), 935. <https://doi.org/10.3390/children8100935>
3. Doshi, N. R., & Rodriguez, M. L. (2007). Amblyopia. *American family physician*, 75(3), 361–367.
4. McConaghy, J. R., & McGuirk, R. (2019). Amblyopia: Detection and Treatment. *American family physician*, 100(12), 745–750.
5. Birch, E. E., Kelly, K. R., & Wang, J. (2021). Recent Advances in Screening and Treatment for Amblyopia. *Ophthalmology and therapy*, 10(4), 815–830. <https://doi.org/10.1007/s40123-021-00394-7>
6. Mostafaie, A., Ghojzadeh, M., Hosseinifard, H., Manaflooyan, H., Farhadi, F., Taheri, N., & Pashazadeh, F. (2020). Una revisión sistemática de la prevalencia de la ambliopía entre los niños del mundo. *Revista rumana de oftalmología*, 64(4), 342-355. <https://doi.org/10.22336/rjo.2020.56>
7. Arnold RW. Prevalencia de ambliopía y estrabismo. *Oftalmología*. 2009;116(2):365-366.
8. Yekta A, Fotouhi A, Hashemi H, Dehghani C, Ostadimoghaddam H, Heravian J, Derakhshan A, Yekta R, Rezvan F, Behnia M, Khabazkhoob M. La prevalencia de anisometropía, ambliopía y estrabismo en escolares de Shiraz, Irán. *Strabismus*. 2010;18(3) doi: 10.3109/09273972.2010.502957.
9. Schmucker C, Grosselfinger R, Riemsma R, Antes G, Lange S, Lagrèze W, Kleijnen J. Precisión diagnóstica de las pruebas de detección de la visión para la detección de ambliopía y sus factores de riesgo: una revisión sistemática. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2009 Nov;247(11):1441–1454. doi: 10.1007/s00417-009-1150-2.
10. Fu Z, Hong H, Su Z, Lou B, Pan CW, Liu H. Prevalencia global de proyecciones de ambliopía y carga de enfermedades hasta 2040: una revisión sistemática y un metanálisis. *Br J Ophthalmol*. 2020 Ago;104(8):1164-70
11. Sanchez, I., Ortiz-Toquero, S., Martin, R., & de Juan, V. (2016). Advantages, limitations, and diagnostic accuracy of photoscreeners in early detection of amblyopia: a review. *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 10, 1365–1373. <https://doi.org/10.2147/OPHTH.S93714>
12. Bretas, C. C., & Soriano, R. N. (2016). Amblyopia: neural basis and therapeutic approaches. *Arquivos brasileiros de oftalmologia*, 79(5), 346–351. <https://doi.org/10.5935/0004-2749.20160099>



13. Hamm, L., Chen, Z., Li, J., Black, J., Dai, S., Yuan, J., Yu, M., & Thompson, B. (2017). Interocular suppression in children with deprivation amblyopia. *Vision research*, 133, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2017.01.004>
14. Kelly, K. R., Jost, R. M., Wang, Y. Z., Dao, L., Beauchamp, C. L., Leffler, J. N., & Birch, E. E. (2018). Improved Binocular Outcomes Following Binocular Treatment for Childhood Amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 59(3), 1221–1228. <https://doi.org/10.1167/iovs.17-23235>
15. Melero Sánchez, R. M. (2017, septiembre). *Ambliopía*. saera.eu. https://www.saera.eu/wp-content/uploads/2017/09/Ambliopia_RosaMariaMelero.pdf
16. Milla, M., & Piñero, D. P. (2020). Characterization, passive and active treatment in strabismic amblyopia: a narrative review. *International journal of ophthalmology*, 13(7), 1132–1147. <https://doi.org/10.18240/ijo.2020.07.18>
17. Park S. H. (2019). Current Management of Childhood Amblyopia. *Korean journal of ophthalmology : KJO*, 33(6), 557–568. <https://doi.org/10.3341/kjo.2019.0061>
18. Moseley, M. J., Neufeld, M., McCarry, B., Charnock, A., McNamara, R., Rice, T., & Fielder, A. (2002). Remediation of refractive amblyopia by optical correction alone. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 22(4), 296–299. <https://doi.org/10.1046/j.1475-1313.2002.00034.x>
19. Cotter, S. A., Pediatric Eye Disease Investigator Group, Edwards, A. R., Wallace, D. K., Beck, R. W., Arnold, R. W., Astle, W. F., Barnhardt, C. N., Birch, E. E., Donahue, S. P., Everett, D. F., Felius, J., Holmes, J. M., Kraker, R. T., Melia, M., Repka, M. X., Sala, N. A., Silbert, D. I., & Weise, K. K. (2006). Treatment of anisometropic amblyopia in children with refractive correction. *Ophthalmology*, 113(6), 895–903. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.01.068>
20. Holmes, J. M., Kraker, R. T., Beck, R. W., Birch, E. E., Cotter, S. A., Everett, D. F., Hertle, R. W., Quinn, G. E., Repka, M. X., Scheiman, M. M., Wallace, D. K., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2003). A randomized trial of prescribed patching regimens for treatment of severe amblyopia in children. *Ophthalmology*, 110(11), 2075–2087. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2003.08.001>
21. Repka, M. X., Beck, R. W., Holmes, J. M., Birch, E. E., Chandler, D. L., Cotter, S. A., Hertle, R. W., Kraker, R. T., Moke, P. S., Quinn, G. E., Scheiman, M. M., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2003). A randomized trial of patching regimens for treatment of moderate amblyopia in children. *Archives of ophthalmology (Chicago, Ill. : 1960)*, 121(5), 603–611. <https://doi.org/10.1001/archophth.121.5.603>
22. Pediatric Eye Disease Investigator Group (2008). A randomized trial of near versus distance activities while patching for amblyopia in children aged 3 to less than 7 years. *Ophthalmology*, 115(11), 2071–2078. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2008.06.031>
23. Scheiman, M. M., Hertle, R. W., Beck, R. W., Edwards, A. R., Birch, E., Cotter, S. A., Crouch, E. R., Jr, Cruz, O. A., Davitt, B. V., Donahue, S., Holmes, J. M., Lyon, D. W., Repka, M. X., Sala, N. A., Silbert, D. I., Suh, D. W., Tamkins, S. M., & Pediatric Eye Disease



- Investigator Group (2005). Randomized trial of treatment of amblyopia in children aged 7 to 17 years. *Archives of ophthalmology (Chicago, Ill.: 1960)*, 123(4), 437–447. <https://doi.org/10.1001/archophth.123.4.437>
24. Repka, M. X., Kraker, R. T., Holmes, J. M., Summers, A. I., Glaser, S. R., Barnhardt, C. N., Tien, D. R., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2014). Atropine vs patching for treatment of moderate amblyopia: follow-up at 15 years of age of a randomized clinical trial. *JAMA ophthalmology*, 132(7), 799–805. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2014.392>
25. US Preventive Services Task Force (2011). Vision screening for children 1 to 5 years of age: US Preventive Services Task Force Recommendation statement. *Pediatrics*, 127(2), 340–346. <https://doi.org/10.1542/peds.2010-317>
26. Repka, M. X., Cotter, S. A., Beck, R. W., Kraker, R. T., Birch, E. E., Everett, D. F., Hertle, R. W., Holmes, J. M., Quinn, G. E., Sala, N. A., Scheiman, M. M., Stager, D. R., Sr, Wallace, D. K., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2004). A randomized trial of atropine regimens for treatment of moderate amblyopia in children. *Ophthalmology*, 111(11), 2076–2085. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2004.04.032>
27. Li, T., & Shotton, K. (2009). Conventional occlusion versus pharmacologic penalization for amblyopia. *The Cochrane database of systematic reviews*, (4), CD006460. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006460.pub2>
28. Zárata, B. R., & Tejedor, J. (2007). Current concepts in the management of amblyopia. *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 1(4), 403–414.
29. Pediatric Eye Disease Investigator Group Writing Committee, Rutstein, R. P., Quinn, G. E., Lazar, E. L., Beck, R. W., Bonsall, D. J., Cotter, S. A., Crouch, E. R., Holmes, J. M., Hoover, D. L., Leske, D. A., Lorenzana, I. J., Repka, M. X., & Suh, D. W. (2010). A randomized trial comparing Bangerter filters and patching for the treatment of moderate amblyopia in children. *Ophthalmology*, 117(5), 998–1004.e6. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2009.10.014>
30. Laria, C., & Pinero, D. P. (2012). Characterization of bangerter filter effect in mild and moderate amblyopia associated with strabismus. *Binocular vision & strabology quarterly, Simms-Romano's*, 27(3), 174–186.
31. ROSENBLOOM, AA., MORGAN, MW. Principles and practice of Pediatric Optometry. Philadelphia, Lippincott, 1990.
32. Toor, S., Horwood, A. M., & Riddell, P. (2018). Asymmetrical accommodation in hyperopic anisometropic amblyopia. *The British journal of ophthalmology*, 102(6), 772–778. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2017-310282>
33. Sengpiel F. (2014). Plasticity of the visual cortex and treatment of amblyopia. *Current biology : CB*, 24(18), R936–R940. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.05.063>
34. Repka, M. X., Kraker, R. T., Beck, R. W., Cotter, S. A., Holmes, J. M., Arnold, R. W., Astle, W. F., Sala, N. A., Tien, D. R., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2009). Contrast sensitivity following amblyopia treatment in children. *Archives of ophthalmology (Chicago, Ill.: 1960)*, 127(9), 1225–1227. <https://doi.org/10.1001/archophthalmol.2009.219>



35. Murray, J., Gupta, P., Dulaney, C., Garg, K., Shaikh, A. G., & Ghasia, F. F. (2022). Effect of Viewing Conditions on Fixation Eye Movements and Eye Alignment in Amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 63(2), 33. <https://doi.org/10.1167/iavs.63.2.33>
36. Niechwiej-Szwedo, E., Colpa, L., & Wong, A. M. F. (2019). Comportamiento Visuomotor en Ambliopía: Déficits y Adaptaciones Compensatorias. *Plasticidad neuronal*, 2019, 6817839. <https://doi.org/10.1155/2019/6817839>
37. Pacheco Cutillas, M. (2022). Postnatal development of the visual function
38. Levi, D. M., Knill, D. C., & Bavelier, D. (2015). Estereopsis y ambliopía: una mini reseña. *Investigación de la visión*, 114, 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.01.002>
39. South, J., Gao, T., Calderwood, M., Turuwhenua, J., Roberts, P., Lee, A., Collins, A., & Black, J. (2022). Measuring aniseikonia and investigating neuroplasticity and image factors in amblyopia (MAGNIFY): study protocol for a randomised clinical trial. *Trials*, 23(1), 358. <https://doi.org/10.1186/s13063-022-06159-2>
40. South, J., Gao, T., Collins, A., Lee, A., Turuwhenua, J., & Black, J. (2020). Clinical Aniseikonia in Anisometropia and Amblyopia. *The British and Irish orthoptic journal*, 16(1), 44–54. <https://doi.org/10.22599/bioj.154>
41. Holmes, J. M., Edwards, A. R., Beck, R. W., Arnold, R. W., Johnson, D. A., Klimek, D. L., Kraker, R. T., Lee, K. A., Lyon, D. W., Nosel, E. R., Repka, M. X., Sala, N. A., Silbert, D. I., Tamkins, S., & Pediatric Eye Disease Investigator Group (2005). A randomized pilot study of near activities versus non-near activities during patching therapy for amblyopia. *Journal of AAPOS : the official publication of the American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus*, 9(2), 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jaapos.2004.12.014>
42. Birch E. E. (2013). Amblyopia and binocular vision. *Progress in retinal and eye research*, 33, 67–84. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2012.11.001>
43. Meier, K., & Giaschi, D. (2017). Unilateral Amblyopia Affects Two Eyes: Fellow Eye Deficits in Amblyopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 58(3), 1779–1800. <https://doi.org/10.1167/iavs.16-20964>
44. Jia, W., Zhou, J., Lu, Z. L., Lesmes, L. A., & Huang, C. B. (2015). Discriminating anisometric amblyopia from myopia based on interocular inhibition. *Vision research*, 114, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.02.003>
45. Zhao, W., Jia, W. L., Chen, G., Luo, Y., Lin, B., He, Q., Lu, Z. L., Li, M., & Huang, C. B. (2017). A complete investigation of monocular and binocular functions in clinically treated amblyopia. *Scientific reports*, 7(1), 10682. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11124-0>
46. Momeni-Moghaddam, H., Kundart, J., & Askarizadeh, F. (2014). Comparing measurement techniques of accommodative amplitudes. *Indian journal of ophthalmology*, 62(6), 683–687. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.126990>
47. Merchante Alcántara MM. Ambliopía y estrabismo. *Pediatría Integral*. 2018; XXII (1); 33-44.



48. Shukla Y. (2020). Accommodative anomalies in children. *Indian journal of ophthalmology*, 68(8), 1520–1525. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1973_18
49. Duane, A. (1915). Anomalies of accommodation clinically considered. *Transactions of the American Ophthalmological Society*, 14 (1) 386-402
50. Hoffstetter HW. Useful age –amplitude formula. *Optom World*. 1950; 38:42–5.
51. León Álvarez, A., Estrada Álvarez, J. M. y Medrano, S. M. (2014). Valores normales de la amplitud de acomodación subjetiva entre los 5 y los 19 años de edad. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 12(2), 11-25.
52. Medrano Muñoz, S. M., Acuña Bedoya, L. M. y Angulo Sánchez, S. V. (2014). Acomodación en pa- cientes de cinco a doce años con ambliopía refractiva leve y moderada: prueba piloto. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 12 (1), 65-77.
53. Ciuffreda, K., y Lee, M. (2002). Differential refractive susceptibility to sustained nearwork. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 22 (5), 372–379.
54. Scheiman, M. y Wick, B. (2002). Vision therapy procedures and instrumentation. En M. Scheiman, y B. Wick, *Clinical Management of Binocular Vision, heterophoric, accommodative and eye movement disorders*. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, 121-212
55. Rosenfield M. Clinical assessment of accommodation. In: *Optometry: Science, Techniques and Clinical Managemen* (Rosenfield M & Logan N, editors), Butterworth Heinemann: Edinburgh, 2009; pp. 229–240.
56. Rouse, M. W., Hutter, R. F., Shiftlett, R. (1984). A normative study of the accommodative lag in elementary school children. *Am J Optom Physiol Opt*, 61(11), 693-697.
57. France L. W. (2003). Dull faces: exoteric and esoteric facts and theories relative to amblyopia. *The American orthoptic journal*, 53, 60–74. <https://doi.org/10.3368/aoj.53.1.60>
58. Ukai, K., Ishii, M., & Ishikawa, S. (1986). A quasi-static study of accommodation in amblyopia. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 6(3), 287–295.
59. Ciuffreda KJ, Levi DM, Selenow A. *Amblyopia: Basic and Clinical Aspects*. Boston: Butterworth-Heinemann; 1991.
60. Hokoda, S. C., & Ciuffreda, K. J. (1982). Measurement of accommodative amplitude in amblyopia. *Ophthalmic & physiological optics : the journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 2(3), 205–212.
61. Ciuffreda, K. J., Hokoda, S. C., Hung, G. K., & Semmlow, J. L. (1984). Accommodative stimulus/response function in human amblyopia. *Documenta ophthalmologica. Advances in ophthalmology*, 56(4), 303–326. <https://doi.org/10.1007/BF00155676>
62. Ciuffreda, K. J., & Hokoda, S. C. (1983). Spatial frequency dependence of accommodative responses in amblyopic eyes. *Vision research*, 23(12), 1585–1594. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(83\)90172-4](https://doi.org/10.1016/0042-6989(83)90172-4)



63. Pripp A. H. (2020). Hawthorne-effekten [The Hawthorne effect]. *Tidsskrift for den Norske laegeforening: tidsskrift for praktisk medicin, ny raekke*, 140(14), 10.4045/tidsskr.20.0395. <https://doi.org/10.4045/tidsskr.20.0395>
64. Correction of Myopia Evaluation Trial 2 Study Group for the Pediatric Eye Disease Investigator Group, Manny, R. E., Chandler, D. L., Scheiman, M. M., Gwiazda, J. E., Cotter, S. A., Everett, D. F., Holmes, J. M., Hyman, L. G., Kulp, M. T., Lyon, D. W., Marsh-Tootle, W., Matta, N., Melia, B. M., Norton, T. T., Repka, M. X., Silbert, D. I., & Weissberg, E. M. (2009). Accommodative lag by autorefraction and two dynamic retinoscopy methods. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, 86(3), 233–243. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318197180c>