

# **L'insuffisance de convergence : Diagnostic et prise en charge orthoptique**

**Guérin Rémi, Maillet Frédéric**

**Cahiers de Sensorio-Motricité : Les Strabismes normo-sensoriels (FNRO 2023)**

## **Abréviations :**

ARN : Accommodation relative négative

BP : Barre de prisme

CITT : Convergence Insufficiency Treatment Trial

CISS : Convergence Insufficiency Symptom Survey

IDC : Insuffisance de convergence

PDC : Paralysie de la convergence

PPC : Punctum proximum de convergence

VFN : Vergence fusionnelle négative (divergence)

VFP : Vergence fusionnelle positive (convergence)

# Introduction

L'insuffisance de convergence (IDC), décrite pour la première fois en 1855 par Von Graefe (1) puis repris par Duane (2) est un trouble de la vision binoculaire caractérisé par une quantité insuffisante de convergence oculaire entraînant une incapacité à atteindre ou maintenir une vision binoculaire simple, nette et confortable en vision de près.

L'IDC est généralement caractérisée par une exophorie plus importante de près que de loin, un punctum proximum de convergence (PPC) reculé ainsi que des valeurs de vergences fusionnelles positives (VFP) réduites (3). Sa prévalence est très variable allant de 4.2% à 17.6% chez les enfants et de 3.4% à 7.7% chez les adultes (4). Ces chiffres sont cependant à nuancer car les critères diagnostiques varient en fonction des différents auteurs.

Ce trouble se retrouve généralement chez les jeunes adultes ayant un déficit inné ou acquis du système des vergences qui reste encore à identifier. Il peut aussi être causé ou associé à différentes pathologies comme les traumatismes crâniens, les maladies neurodégénératives comme la maladie de Parkinson, les atteintes de la thyroïde, la myasthénie, certaines substances toxiques ou médicamenteuses ainsi que certaines infections ou inflammations (1,5,6). L'IDC semble particulièrement présente en cas de commotion ou de traumatisme crânien. En effet plusieurs études semblent retrouver une IDC après un traumatisme crânien allant de 43% dans la population générale à 49% chez des jeunes (11-17ans) (7,8).

Les symptômes sont couramment associés aux activités prolongées en vision de près : asthénopie, fatigue visuelle, céphalées, douleurs périorbitaires, vision trouble / double intermittente, difficultés lors de la lecture (impression que les mots "bougent" sur la feuille), pertes de fixation, troubles de la concentration ainsi qu'une réduction de l'attention (3,6). D'autres études rapportent aussi des symptômes moins fréquents comme des étourdissements, le mal du transport ainsi que des nausées (9,10).

Malgré les connaissances actuelles du trouble, l'IDC n'est pas dépistée systématiquement par les professionnels de la santé visuelle. L'un des problèmes réside dans les critères diagnostiques et les méthodes d'examens qui varient selon la littérature et les différentes pratiques. Ces disparités peuvent entraîner une mauvaise prise en charge des patients qui peuvent être mal diagnostiqués, recevoir un traitement non approprié ou tout simplement continuer à souffrir de leurs symptômes. Ceci peut entraîner des coûts de santé plus importants (rééducation non nécessaire, multiplication des consultations...) ainsi que des chirurgies inutiles ou non liées (11).

## Critères diagnostiques

En dépit de la forte prévalence de ce trouble, il n'existe pas de critère diagnostique unanimement accepté (12). En effet, de nombreux critères diagnostiques ont été proposés au fil des années : certains auteurs n'ont pris en compte qu'un PPC éloigné pour diagnostiquer une IDC tandis que de nombreux autres indiquent qu'une exophorie de près plus importante que de loin, un PPC éloigné ainsi que des VFP réduites en vision de près doivent être présente pour diagnostiquer une IDC comme Duane le proposait déjà à la fin du 19ème siècle (9).

Le CITT (Convergence Insufficiency Treatment Trial) est un groupe de chercheurs américains fondé en 1992 qui participe activement à la recherche sur l'IDC avec la publication de nombreuses études de grande ampleur (13). Ils définissent l'IDC comme :

- Une exophorie de près  $4\Delta$  > à la phorie de loin
- Une amplitude de fusion (BP) en convergence de près  $\leq 15\Delta$  (ou un critère de Sheard négatif)
- Un bris au PPC  $\geq$  à 6cm
- Un score  $\geq 16$  au questionnaire CISS (Convergence Insufficiency Symptom Survey)

Les patients ayant une accommodation  $< 5\delta$  étant exclus (14).

Le CISS est un questionnaire développé et validé à la fin des années 90 qui permet d'évaluer les symptômes ainsi que leurs fréquences liées à l'IDC ce qui permet de calculer un score de sévérité. De nombreuses études ont été réalisées sur ce questionnaire mais il semblerait qu'il ne soit actuellement plus spécifique pour l'évaluation des symptômes de l'IDC (15,16).

Il n'est cependant pas nécessaire que le patient présente toutes les caractéristiques précédentes pour parler d'IDC. Rouse (17) propose une classification allant de la non-présence d'une IDC à une IDC certaine en fonction du nombre de signes retrouvés lors du bilan. Les signes proposés dans son étude étaient similaires à ceux du CITT décrit ci-dessus (exophorie de près  $\geq 4\Delta$  par rapport à la phorie de loin, un PPC éloigné avec un bris  $\geq 7.5\text{cm}$  ou  $\geq 10.5\text{cm}$  en recouvrement, un critère de Sheard négatif ou une amplitude de fusion  $< 12\Delta$  pour la valeur de flou et  $< 15\Delta$  pour la valeur de bris).

Il décrit 4 catégories :

- La non-présence d'IDC (pas d'exophorie de près ou une différence  $< 4\Delta$  entre la phorie de près et de loin)
- Une faible suspicion d'IDC (exophorie de près et 1 signe)
- Une suspicion élevée d'IDC (exophorie de près et 2 signes)
- Une IDC certaine (exophorie de près et 3 signes)

Dans son étude réalisée sur des enfants entre 9 et 13ans, Rouse retrouve que 78% des enfants n'ont pas d'IDC, 8.4% présenteraient une faible suspicion d'IDC, 8.8% une suspicion élevée et seulement 4.2% auraient une IDC certaine.

En dehors d'une IDC avérée, d'autres tests évaluant les vergences fusionnelles positives (VFP) peuvent être ajoutés lors du bilan pour étayer le diagnostic. On peut y retrouver d'autres éléments tels que :

- Un rapport AC/A (par hétérophorie) faible
- Une accommodation relative négative (ARN)  $\leq +1.50$
- Un rock accommodatif binoculaire échoué / ralenti dans le convexe
- Une flexibilité des vergences échoué / ralenti avec le prisme base externe

L'IDC ne se repose donc pas uniquement sur une mesure : c'est une série de plusieurs tests qui permettront in fine de poser le diagnostic plus ou moins certain en fonction des résultats obtenus lors du bilan orthoptique.

## Que faire en cas d'absence de plainte ?

Il est possible de retrouver lors du bilan sensori-moteur des éléments pouvant indiquer une IDC sans pour autant que le patient présente de symptômes associés (6).

Dans ce type de cas, plusieurs hypothèses peuvent être envisagées : le patient peut présenter une bonne résistance à la douleur, fermer un œil à la lecture, développer une neutralisation pour pallier la faiblesse fusionnelle ou tout simplement ne pas travailler ou avoir d'activité en vision de près.

Il est important de noter que même si le trouble est avéré, il faut qu'il soit associé à une plainte pour qu'une prise en charge soit mise en place. Il ne faut cependant pas négliger les difficultés scolaires présentes en lecture qui peuvent être induites ou associées à une IDC (18–20).

## Diagnostics différentiels

### Par rapport aux plaintes

Les symptômes induits par l'IDC sont communs à différents troubles du système visuel. La non-connaissance des diagnostics différentiels peut entraîner des prises en charges inefficaces, inutiles et non durables dans le temps.

Même si sa prévalence reste importante, l'IDC n'est pas le seul trouble des vergences. Wick (21) établit en 1987 une classification des différents troubles des vergences. La différenciation de ces troubles se base sur la phorie de loin ainsi que le rapport AC/A (par hétérophorie). Il décrit :

- L'insuffisance ou excès de convergence
- L'insuffisance ou excès de divergence
- L'exophorie ou l'ésophorie basique
- Un trouble de la fusion
- Une déviation verticale

| Rapport AC/A \ Phorie de loin | Rapport AC/A faible                               | Rapport AC/A normal                        | Rapport AC/A élevé                         |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Exophorie                     | $X < X'$<br>Insuffisance de convergence           | $X = X'$<br>Exophorie basique              | $X > X'$<br>Excès de divergence            |
| Orthophorie                   | $O \text{ et } X'$<br>Insuffisance de convergence | $O \text{ et } O'$<br>Trouble de la fusion | $O \text{ et } E'$<br>Excès de convergence |
| Esophorie                     | $E > E'$<br>Insuffisance de divergence            | $E = E'$<br>Esophorie basique              | $E < E'$<br>Excès de convergence           |
| Troubles verticaux            | Hyperphorie droite ou gauche                      |                                            |                                            |

Bien que ces troubles présentent des critères diagnostiques différents de l'IDC, ils peuvent dans certains cas amener à des plaintes similaires.

Ces mêmes symptômes peuvent se retrouver dans les troubles accommodatifs (insuffisance, excès, fluidité dégradée) qui ont une prévalence similaire voire supérieure aux troubles de la vision binoculaire. Leurs prises en charge passant dans un premier temps par la correction optique, la compensation des amétropies

même de faibles valeurs se doit d'être envisagée avant toute autre prise en charge (22).

Il en va de même pour la disparité de fixation. Rousseau (23) met en évidence que des symptômes similaires à l'IDC seraient retrouvés en cas de présence d'une disparité de fixation. La prismsation de la disparité permettrait la suppression des symptômes sans avoir à recourir à la rééducation.

Les troubles de la vision binoculaire et de l'accommodation étant nombreux et complexes, un arbre décisionnel traduit et adapté de livre de Scheiman & Wick (16) a été réalisé en Français (24).

### **Par rapport aux examens**

L'IDC ne doit pas être confondue avec la paralysie de la convergence (PDC). La PDC est un trouble rare décrit pour la première fois en 1883 par Parinaud comme étant une entité différente de l'IDC, caractérisé par une adduction normale, une diplopie présente uniquement de près et une incapacité du patient à converger (25). Cette paralysie est généralement attribuée à des lésions neurologiques dans les zones du troisième noyau nerveux, de la Corpa Quadrigemina, de la glande pinéale ou à des maladies débilitantes (26). En dehors d'une association avec d'autres atteintes du système nerveux central, le principal élément permettant le diagnostic différentiel reste l'anamnèse : l'apparition récente d'une diplopie et d'une asthénopie est suspecte alors qu'un patient atteint d'une IDC présente généralement des signes fonctionnels chroniques de longue date (16).

Richman & Cron (27) cité par Scheiman (16) décrivent aussi une pseudo-IDC quand l'IDC est secondaire à une insuffisance accommodative. Elle se retrouve quand le patient présente les signes cliniques d'IDC ainsi que des valeurs réduites aux tests stimulant l'accommodation. Dans ce type de cas, il faut traiter le trouble accommodatif dans un premier temps avant d'envisager une prise en charge de l'IDC.

## **Prise en charge de l'IDC**

Un examen ophtalmologique est au préalable nécessaire afin d'écartier tout trouble structural ou des milieux pouvant influencer une vision binoculaire de qualité.

En cas d'IDC, plusieurs types de traitements peuvent alors être envisagés :

- La correction optique
- La prismsation
- La chirurgie
- La rééducation

### **Correction optique**

La première étape dans la prise en charge des troubles de l'accommodation et de la vision binoculaire reste la correction optique de toute amétropie significative.

En effet, la présence d'une amétropie non corrigée peut entraîner (16):

- Une sous / sur-accommodation, conduisant à des troubles de la fonction accommodative
- Une phorie élevée et une demande inhabituelle de vergence fusionnelle négative (VFN) ou positive (VFP)
- Un déséquilibre entre les deux yeux qui entraînera des perturbations de la fusion sensorielle
- Une diminution de la capacité de fusion en raison d'images rétinienne floues

Une étude réalisée en 1995 sur 143 patients présentant une amétropie significative associée à des troubles des vergences et de l'accommodation démontre que la prescription de la correction optique entraîne une amélioration des valeurs des vergences et de l'accommodation (22) pouvant atteindre jusqu'à 79% de normalisation chez des patients hypermétropes-astigmates.

Dans cette publication, les auteurs ont considéré comme étant une amétropie significative : une hypermétropie  $\geq 1.00$ , une myopie  $\geq 0.50$ , un astigmatisme  $\geq 0.75$  et une anisométrie  $\geq 0.75$ . Une question reste donc en suspens : faut-il corriger les amétropies inférieures aux valeurs considérées comme significatives ? Dans cette situation, la décision du clinicien doit être basée sur des tests supplémentaires et d'une analyse plus poussée de la vision binoculaire et du système accommodatif.

De manière générale, un examen sous cycloplégique est réalisé chez les enfants / adolescents mais est rapidement remplacé par une réfraction subjective chez l'adulte. Cette pratique était supportée par le fait que l'accommodation est très importante durant l'enfance et diminue avec l'âge pour être presque nulle vers 50ans.

Cependant des études récentes tendent à montrer des différences importantes entre la réfraction subjective et objective jusqu'à 50ans en particulier au niveau de l'hypermétropie où la réfraction subjective aurait tendance à la sous-évaluer (28).

Les troubles réfractifs pouvant entraîner des signes fonctionnels visuels similaires à l'IDC, un examen réfractif sous cycloplégique est recommandé avant d'envisager une prise en charge de l'IDC.

Il est donc conseillé de prescrire la correction optique la plus convexe possible retrouvée sous cycloplégie en port constant et de contrôler le patient à 4-6 semaines d'intervalle pour réévaluer le trouble. Dans la majorité des cas, les signes fonctionnels disparaissent avec la prescription des lunettes (22,29,30).

Il est tout de fois possible que l'ajout d'une correction optique convexe augmenter les symptômes des patients. En effet la correction d'une hypermétropie peut augmenter l'exodéviations et entraîner plus de difficulté à la compenser chez des sujets ayant une forte IDC avec des valeurs très faibles de VFP. Dans le cas, la correction optique peut être intégrée progressivement en même temps qu'une prise en charge rééducative.

## **Prismation et chirurgie**

Avant d'aborder la prismation horizontale, il convient de déterminer si une déviation verticale est présente. London & Wick (31) ont montré que la prescription de prismes

verticaux, même de valeur faible ( $0.5\Delta$ ) pouvait améliorer de manière significative la déviation horizontale. C'est pourquoi, toute déviation verticale se doit d'être prismée. Il est à noter que les auteurs préconisent de déterminer la valeur de la prescription du prisme à l'aide d'un test de disparité de fixation.

Il peut paraître intuitif de vouloir compenser une mauvaise convergence par un prisme base interne. Une étude publiée par Scheiman (32) montre que chez les jeunes de moins de 18 ans, les lunettes à prismes base interne n'ont pas démontré une efficacité supérieure au placebo pour l'amélioration du PPC, des amplitudes de fusion et des symptômes associés à l'IDC. D'autres auteurs (33) retrouvent cependant une réduction des symptômes (basé sur le questionnaire CISS) chez des adultes sans pour autant qu'une amélioration des paramètres mesurés lors du bilan orthoptique n'y soit corrélée.

Les prismes base interne présentent donc plutôt une place secondaire dans le traitement de l'IDC. Ils peuvent être proposés en 2ème intention quand la rééducation s'avère inefficace.

La chirurgie oculomotrice n'est pas un traitement de première intention dans l'IDC. Elle doit être envisagée uniquement en cas de phorie de grandes valeurs ( $> 30\Delta$ ) ou d'échec des autres traitements. Une résection ou une plicature bilatérale des muscles droits médians peut alors être proposée (34,35).

## Rééducation

Une méta-analyse (3) publiée en 2020 dans la revue Cochrane fait l'état des lieux sur la prise en charge de l'IDC. Les auteurs démontrent que la rééducation en cabinet associée à des exercices à domicile est la prise en charge la plus efficace chez les enfants pour le traitement de l'IDC (certitude élevée) comparé à une rééducation uniquement à domicile (type « pencil push up » ou via ordinateur) ou qu'une rééducation placebo.

Si on ne prend en compte que la rééducation à domicile, il n'est pas avéré (certitude faible à modérée) qu'il existe une différence en ce qui concerne l'amélioration des vergences ou des vergences associées aux signes fonctionnels entre une rééducation à domicile (« push up » ou par ordinateur) et une rééducation placebo.

En ce qui concerne les adultes, les effets comparatifs de ces différentes interventions sont plus ambigus. En effet les différentes études montrent que la rééducation en cabinet serait plus efficace que la rééducation placebo en ce qui concerne les VFP mais pas en ce qui concerne le PPC. En outre, il n'y aurait pas de changement concernant les symptômes décrits par les patients.

Peu d'études se sont intéressées à déterminer si les effets de la rééducation étaient durables dans le temps mais il semblerait que l'amélioration des valeurs des vergences ainsi que des symptômes soient maintenus 1an après la rééducation (36,37). Un patient nécessitant plusieurs séries de séances de rééducation doit faire rechercher une cause sous-jacente à l'IDC ou envisager d'autres options de prise en charge.

## Mécanismes invoqués

Des études en laboratoire ont montré que ce serait l'amplitude ainsi que la vélocité de la vergence proximale et de la vergence tonique qui seraient influencées par la prise en charge rééducative (1).

La connaissance de ces mécanismes nous permet d'en déduire les exercices les plus pertinents pour le traitement de l'IDC :

- La convergence proximale s'améliore en effectuant des changements répétitifs, rapides et de grande amplitude à différentes distances.
- La convergence tonique s'améliore en maintenant la convergence de manière soutenue.

Les auteurs suggèrent que la rééducation devrait inclure des exercices de lecture avec prismes base externe, des exercices type « jump vergence » avec des prismes base externe ainsi que des exercices nécessitant des changements rapides de fixation entre la vision de loin et de près.

Non seulement les valeurs des tests des VFP s'améliorent mais des études en IRM rapportent une augmentation de l'activité corticale et des changements neurophysiologiques post-rééducation (38,39). La rééducation des vergences entraînerait une augmentation de l'activité fonctionnelle du champ oculomoteur frontal, du cortex pariétal postérieur ainsi que du vermis du cervelet. Il existe une corrélation entre l'augmentation de la vélocité de la convergence et l'augmentation de l'activité corticale.

La rééducation améliore des éléments fonctionnels et non moteurs : ce n'est donc pas l'augmentation de la puissance des muscles oculomoteurs (MOM) qui est améliorée par la rééducation. Il est important de mentionner que les MOM sont disproportionnés par rapport au poids qu'ils ont à mobiliser (globe oculaire) et contrairement aux autres muscles du corps, les MOM ne semblent pas fatigables (40).

## Plan de rééducation

La rééducation doit être une combinaison entre des séances de rééducation au cabinet de l'orthoptiste et des exercices à réaliser quotidiennement à domicile par le patient. Le nombre total de séances de thérapie dépend de la gravité de l'affection, de l'âge du patient, de sa motivation et du suivi de la prise en charge. 10 à 12 séances de rééducation à raison d'une à deux fois par semaine permettent généralement de résoudre ce trouble.

De nos jours, de nombreux outils de rééducation existent pour traiter les troubles des vergences (prismes, stéréogrammes, anaglyphes, logiciels dédiés...). L'orthoptiste se doit de proposer un éventail d'exercice large et différents au patient pour rendre la prise en charge la plus variée et attractive possible.

Nous détaillons ici les 3 phases du traitement de l'IDC décrites dans le livre de M. Scheiman (16).

1. Initialisation
  - a. Expliquer au patient les mécanismes et le principe de la prise en charge

- b. Prise de conscience des mécanismes de feedback (flou, diplopie, neutralisation, effet SILO, ...)
  - c. Développer la convergence volontaire (PPC)
  - d. Normaliser l'amplitude des vergences fusionnelles positives (VFP)
  - e. Normaliser l'amplitude accommodative et la capacité à stimuler / relâcher l'accommodation
- 2. Travail de fond
  - a. Normaliser l'amplitude des vergences fusionnelles négatives (VFN)
  - b. Normaliser la fluidité des vergences (« jumps ») des VFP et VFN
- 3. Consolidation
  - a. Développer la capacité à passer de la convergence à la divergence
  - b. Ajouter des poursuites / saccades lors des exercices de vergence
  - c. Ajouter des demandes accommodatives différentes lors des exercices de vergence

Il est important de noter que la rééducation se doit de s'adapter aux capacités et à la disponibilité du patient.

## Conclusion

L'IDC est un trouble entraînant des symptômes visuels asthénopiques lors de l'utilisation de la vision de près. Son diagnostic repose sur la bonne connaissance de son patient (pathologie, traitement...) ainsi qu'un bilan ophtalmologique et orthoptique complet.

Le diagnostic ne se pose généralement pas à la 1<sup>ère</sup> consultation : un examen sous cycloplégique est souvent nécessaire pour écarter un trouble réfractif latent. Il faudra alors ré-évaluer le trouble à distance avec port de la correction optique la plus convexe possible en continu.

En cas d'IDC avérée, la rééducation au cabinet de l'orthoptiste associée à des exercices à la maison semble être la méthode de traitement la plus efficace chez les enfants. L'efficacité des différentes prises en charge est moins claire chez l'adulte.

Malgré cela, il existe encore une méconnaissance des mécanismes, des critères diagnostiques et de la prise en charge de la part des professionnels de la santé visuelle qui traitent ce trouble. Cette méconnaissance entraîne parfois des prises en charge rééducatives abusives au détriment du patient et de la reconnaissance scientifique de la profession d'orthoptiste.

**Remerciement :** Je tiens à remercier Marc Fauveau et Benoit Rousseau pour leurs aides apportées dans la rédaction de cet article. Je remercie aussi Nirlo Gabrielle et le Docteur Döhmer-Chan Joyce pour leur relecture.

**Conflit d'intérêt :** Les auteurs déclarent n'avoir aucun lien en relation avec cet article.

# Bibliographie

1. Arnoldi K, Reynolds JD. A review of convergence insufficiency: what are we really accomplishing with exercises? *Am Orthopt J.* 2007;57:123-30.
2. Duane A (Alexander). A new classification of the motor anomalies of the eye : based upon physiological principles, together with their symptoms, diagnosis, and treatment [Internet]. New York : J.H. Vail; 1897 [cité 29 juin 2022]. 116 p. Disponible sur: <http://archive.org/details/aneewclassificat00duangoog>
3. Scheiman M, Kulp MT, Cotter SA, Lawrenson JG, Wang L, Li T. Interventions for convergence insufficiency: a network meta-analysis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2 déc 2020;12:CD006768.
4. Alvarez TL, Scheiman M, Morales C, Gohel S, Sangoi A, Santos EM, et al. Underlying neurological mechanisms associated with symptomatic convergence insufficiency. *Sci Rep.* 22 mars 2021;11(1):6545.
5. Van Nechel C. [Oculomotor anomalies from medications]. *Bull Soc Belge Ophtalmol.* 2007;(304):179-84.
6. Cooper J, Jamal N. Convergence insufficiency-a major review. *Optom St Louis Mo.* 30 avr 2012;83(4):137-58.
7. Master C, Scheiman M, Gallaway M, Goodman A, Robinson R, Master S, et al. Vision Diagnoses Are Common After Concussion in Adolescents. *Clin Pediatr (Phila).* 7 juill 2015;55.
8. Ciuffreda KJ, Kapoor N, Rutner D, Suchoff IB, Han ME, Craig S. Occurrence of oculomotor dysfunctions in acquired brain injury: a retrospective analysis. *Optom St Louis Mo.* avr 2007;78(4):155-61.
9. Sathyan S, Beena NF, Nair D, Varughese AM. Convergence insufficiency. *Kerala J Ophthalmol.* 4 janv 2016;28(2):88.
10. Wiener-Vacher SR, Wiener SI, Ajrezo L, Obeid R, Mohamed D, Boizeau P, et al. Dizziness and Convergence Insufficiency in Children: Screening and Management. *Front Integr Neurosci.* 2019;13:25.
11. Trieu LH, Lavrich JB. Current concepts in convergence insufficiency. *Curr Opin Ophthalmol.* sept 2018;29(5):401-6.
12. Lavrich JB, Warner NJK, Hauschild AJ, Thau A, Wasserman BN, DeBenedictis C, et al. Inconsistent diagnostic criteria for convergence insufficiency. *J AAPOS Off Publ Am Assoc Pediatr Ophthalmol Strabismus.* févr 2019;23(1):32.e1-32.e4.
13. Scheiman M, Mitchell GL, Cotter SA, Kulp M, Chase C, Borsting E, et al. Convergence Insufficiency Treatment Trial – Attention and Reading Trial (CITT-ART): Design and Methods. *Vis Dev Rehabil.* oct 2015;1(3):214-28.
14. Convergence Insufficiency Treatment Trial Investigator Group. A Randomized Clinical Trial of Treatments for Symptomatic Convergence Insufficiency in Children. *Arch Ophthalmol.* oct 2008;126(10):1336-49.
15. Horan LA, Ticho BH, Khammar AJ, Allen MS, Shah BA. Is The Convergence Insufficiency Symptom Survey Specific for Convergence Insufficiency? A Prospective, Randomized Study. *Am Orthopt J.* 2015;65:99-103.
16. Scheiman M, Wick B. Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders. 5th edition. Philadelphia etc.: Lippincott Williams and Wilkins; 2019. 760 p.
17. Rouse MW, Borsting E, Hyman L, Hussein M, Cotter SA, Flynn M, et al. Frequency of convergence insufficiency among fifth and sixth graders. The Convergence Insufficiency and Reading Study (CIRS) group. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* sept 1999;76(9):643-9.

18. Borsting E, Mitchell GL, Kulp MT, Scheiman M, Amster DM, Cotter S, et al. Improvement in academic behaviors after successful treatment of convergence insufficiency. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* janv 2012;89(1):12-8.
19. Daniel F, Morize A, Brémond-Gignac D, Kapoula Z. Benefits from Vergence Rehabilitation: Evidence for Improvement of Reading Saccades and Fixations. *Front Integr Neurosci* [Internet]. 20 oct 2016 [cité 27 mars 2020];10. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5071378/>
20. Gaertner C, Bucci MP, Ajrezo L, Wiener-Vacher S. Binocular coordination of saccades during reading in children with clinically assessed poor vergence capabilities. *Vision Res.* 19 juill 2013;87:22-9.
21. Wick B. Horizontal deviation. Diagnosis and management in vision care. Boston: Butterworth-Heinemann; 1987. (Amos J, editor).
22. Dwyer P, Wick B. The influence of refractive correction upon disorders of vergence and accommodation. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* avr 1995;72(4):224-32.
23. Rousseau B. Asthénopie et disparité de fixation. *J Fr D'Orthoptie.* 2002;34.
24. Guérin R, Rousseau B, Fauveau M, Maillet F. Arbre décisionnel des différentes pathologies orthoptiques, prévalences et modes de traitement. 2020.
25. Day C, Arora S, Adam RS, Rodriguez AR. Idiopathic convergence paralysis: a rare case. *Am Orthopt J.* 2011;61:137-40.
26. Darko-Takyi C, Ebrahim Khan N, Nirghin U. A review of the classification of nonstrabismic binocular vision anomalies. *Optom Rep.* 17 juin 2016;5.
27. Richman JE, Cron MT. Guide to vision therapy. South Bend, Ind.: Bernell; 1988.
28. Morgan IG, Iribarren R, Fotouhi A, Grzybowski A. Cycloplegic refraction is the gold standard for epidemiological studies. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 2015;93(6):581-5.
29. Abdi S, Rydberg A. Asthenopia in schoolchildren, orthoptic and ophthalmological findings and treatment. *Doc Ophthalmol Adv Ophthalmol.* sept 2005;111(2):65-72.
30. Kotegawa Y, Hara N, Ono K, Arimoto A, Mukuno K. [Influence of accommodative response and visual symptoms on visual display terminal adult operators with asthenopia through adequately corrected refractive errors]. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi.* avr 2008;112(4):376-81.
31. London RF, Wick B. Vertical fixation disparity correction: effect on the horizontal forced-vergence fixation disparity curve. *Am J Optom Physiol Opt.* sept 1987;64(9):653-6.
32. Scheiman M, Cotter S, Rouse M, Mitchell GL, Kulp M, Cooper J, et al. Randomised clinical trial of the effectiveness of base-in prism reading glasses versus placebo reading glasses for symptomatic convergence insufficiency in children. *Br J Ophthalmol.* oct 2005;89(10):1318-23.
33. Nabovati P, Kamali M, Mirzajani A, Jafarzadehpur E, Khabazkhoob M. The effect of base-in prism on vision-related symptoms and clinical characteristics of young adults with convergence insufficiency; a placebo-controlled randomised clinical trial. *Ophthalmic Physiol Opt J Br Coll Ophthalmic Opt Optom.* janv 2020;40(1):8-16.
34. Wang X, Zhang W, Chen B, Liao M, Liu L. Comparison of bilateral medial rectus plication and resection for the treatment of convergence insufficiency-type intermittent exotropia. *Acta Ophthalmol (Copenh).* mai 2019;97(3):e448-53.
35. Song D, Qian J, Chen Z. Efficacy of medial rectus plication versus resection for exotropia: a meta-analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1 juill 2022;260.

36. Shin HS, Park SC, Maples WC. Effectiveness of vision therapy for convergence dysfunctions and long-term stability after vision therapy. *Ophthalmic Physiol Opt J Br Coll Ophthalmic Opt Optom.* mars 2011;31(2):180-9.
37. Convergence Insufficiency Treatment Trial Study Group. Long-Term Effectiveness of Treatments for Symptomatic Convergence Insufficiency in Children. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* sept 2009;86(9):1096-103.
38. Alvarez TL, Vicci VR, Alkan Y, Kim EH, Gohel S, Barrett AM, et al. Vision therapy in adults with convergence insufficiency: clinical and functional magnetic resonance imaging measures. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* déc 2010;87(12):E985-1002.
39. Alvarez TL, Jaswal R, Gohel S, Biswal BB. Functional activity within the frontal eye fields, posterior parietal cortex, and cerebellar vermis significantly correlates to symmetrical vergence peak velocity: an ROI-based, fMRI study of vergence training. *Front Integr Neurosci.* 2014;8:50.
40. Prsa M, Dicke PW, Thier P. The absence of eye muscle fatigue indicates that the nervous system compensates for non-motor disturbances of oculomotor function. *J Neurosci Off J Soc Neurosci.* 24 nov 2010;30(47):15834-42.