

Année 2025/2026

N°

Thèse

Pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'État

par

Mathilde PECH de LACLAUSE

TITRE

Etude de l'évolution de la distance interorbitaire au cours de la croissance, chez des patients sains et après chirurgie d'hypertélorisme

Présentée et soutenue publiquement le **26/09/2025** devant un jury composé de :

Président du Jury : *Professeur Boris LAURE, Chirurgie Maxillo-Faciale et stomatologie, Faculté de Médecine – Tours*

Membres du Jury :

Professeur Arnaud PARE, Chirurgie Maxillo-Faciale et stomatologie, Faculté de Médecine – Tours

Professeur Baptiste MOREL, Radiologie Pédiatrique, Faculté de Médecine – Tours

Docteur Nadine TRAVERS, Neurochirurgie, PH, CHU -Tours

Docteur Eric ARNAUD, Chirurgie Plastique, PH, Hôpital Necker-Enfants-Malades- APHP -Paris

Directeur de thèse : Docteur Anne MORICE, Chirurgie Maxillo-Faciale et stomatologie, MCU-PH, Faculté de Médecine – Tours

RESUME

L'hypertélorisme orbitaire, défini par une augmentation pathologique de la distance interorbitaire, peut être isolé ou associé à de multiples syndromes malformatifs. La prise en charge chirurgicale de l'hypertélorisme, souvent réalisée avant la fin de la croissance faciale en cas de retentissement morphologique important, soulève la question de l'interférence avec le développement orbitaire normal et du risque de récurrence à long terme. L'objectif principal de cette thèse est double : d'une part, il s'agit de définir des valeurs de référence de la croissance orbitaire osseuse chez l'enfant caucasien sain ; et d'autre part, d'évaluer l'évolution post-opératoire de la distance interorbitaire chez des patients opérés d'hypertélorisme orbitaire.

Pour répondre au premier objectif, une étude morphométrique rétrospective a été menée à partir de 466 scanners crânio-faciaux réalisés chez des enfants caucasiens âgés de 3 mois à 10 ans. Les distances interorbitaires internes (IOD) et latérales (LOD), ainsi que leur ratio (IOD/LOD), ont été mesurées en suivant des repères anatomiques standardisés. Les résultats montrent une croissance progressive et isométrique des orbites, avec une accélération marquée durant les deux premières années de vie et entre 7 et 8 ans, passant d'une IOD moyenne de 18,76 mm à 3 mois à 22,79 mm à 10 ans.

Pour répondre au deuxième objectif, une étude rétrospective, chez des patients opérés d'une chirurgie d'hypertélorisme au sein de notre service, a été menée sur la période 2017 – 2025. Les critères d'inclusion étaient les suivants : données cliniques et scanographiques disponibles, avec suivi d'au moins 3 ans post-opératoires. Deux patients ont bénéficié d'une chirurgie monobloc d'avancée frontofaciale associée à une bipartition faciale, trois par une bipartition faciale et six par des box ostéotomies. Les distances interorbitaires ont été mesurées sur les scanners préopératoires, en période postopératoire immédiate et à distance. Nous avons observé dans notre série, une augmentation de la distance interorbitaire en période post-opératoire, suggérant une croissance résiduelle des orbites, sans récurrence de l'hypertélorisme chez 8 des 11 patients. Trois patients présentaient une insuffisance de correction de l'hypertélorisme à long terme, en lien avec une réduction per-opératoire de la distance interorbitaire incomplète.

Ces résultats contribuent à une meilleure connaissance de l'évolution de la distance interorbitaire au cours de la croissance physiologique, et après chirurgie d'hypertélorisme. Au total, la poursuite de ce travail avec l'augmentation du nombre de patients opérés d'hypertélorisme inclus dans notre étude, nous aidera à mieux adapter les stratégies chirurgicales en fonction de l'âge et de l'étiologie de l'hypertélorisme.

MOTS-CLES : distance interorbitaire, scanners, croissance orbitaire, population pédiatrique saine, hypertélorisme orbitaire, correction chirurgicale, résultats post-opératoires.

SUMMARY

TITLE: Study of Interorbital Distance Evolution During Growth in Healthy Patients and After Surgical Correction of Hypertelorism

Orbital hypertelorism, defined as a pathological increase in the interorbital distance, can occur in isolation or in association with multiple congenital syndromes. Surgical management of hypertelorism, often performed before the completion of facial growth in cases with significant morphological impact, raises concerns regarding potential interference with normal orbital development and the risk of long-term recurrence.

The primary objective of this thesis is twofold: first, to establish normative reference values for orbital bone growth in healthy Caucasian children; and second, to evaluate the postoperative evolution of the interorbital distance in patients who have undergone surgery for orbital hypertelorism.

To address the first objective, a retrospective morphometric study was conducted based on 466 craniofacial CT scans of Caucasian children aged from 3 months to 10 years. Internal (IOD) and lateral (LOD) interorbital distances, as well as their ratio (IOD/LOD), were measured using standardized anatomical landmarks. The results demonstrate progressive and isometric orbital growth, with marked acceleration during the first two years of life and between 7 and 8 years, with the internal interorbital distance increasing from 18.76 mm at 3 months to 22.79 mm at 10 years.

To address the second objective, a retrospective study was conducted on patients operated for hypertelorism in our department between 2017 and 2025. Inclusion criteria included availability of clinical and imaging data, with at least 3 years of postoperative follow-up. Two patients were treated by facial bipartition combined with monobloc frontofacial advancement, three by facial bipartition, and six by box osteotomies. Interorbital distances were measured on preoperative, immediate postoperative, and long-term follow-up CT scans. Our series showed an increase in interorbital distance over time, suggesting residual orbital growth without recurrence of hypertelorism in 8 out of 11 patients. Three patients exhibited insufficient long-term correction of hypertelorism, related to inadequate intraoperative reduction of the interorbital distance.

These results contribute to a better understanding of interorbital distance evolution during physiological growth and following hypertelorism surgery. Overall, continuing this work with a larger cohort of surgically treated hypertelorism patients will help optimize surgical strategies based on patient age and hypertelorism etiology.

KEYWORDS: interorbital distance, CT-scans, orbital growth, paediatric healthy population, orbital hypertelorism, surgical correction, postoperative outcomes.

UNIVERSITE DE TOURS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN
Pr Denis ANGOULVANT

VICE-DOYEN
Pr David BAKHOS

ASSESSEURS
Pr Philippe GATAULT, *Pédagogie*
Pr Alexandra AUDEMARD-VERGER, *Relations internationales*
Pr Clarisse DIBAO-DINA, *Médecine générale*
Pr Pierre-Henri DUCLUZEAU, *Formation Médicale Continue*
Pr Hélène BLASCO, *Recherche*
Pr Pauline SAINT-MARTIN, *Vie étudiante*

RESPONSABLE ADMINISTRATIVE
Mme Carole ACCOLAS

DOYENS HONORAIRES
Pr Emile ARON (†) – 1962-1966
Directeur de l'Ecole de Médecine - 1947-1962
Pr Georges DESBUQUOIS (†) - 1966-1972
Pr André GOUAZE (†) - 1972-1994
Pr Jean-Claude ROLLAND – 1994-2004
Pr Dominique PERROTIN – 2004-2014
Pr Patrice DIOT – 2014-2024

PROFESSEURS EMERITES
Pr Gilles BODY
Pr Philippe COLOMBAT
Pr Etienne DANQUECHIN-DORVAL
Pr Patrice DIOT
Pr Luc FAVARD
Pr Bernard FOUQUET
Pr Yves GRUEL
Pr Gilles PAINTAUD
Pr Frédéric PATAT
Pr Loïc VAILLANT

PROFESSEURS HONORAIRES

D.ALISON – P. ANTHONIOZ – P. ARBEILLE – M. AUPART – A. AUTRET – D. BABUTY – C. BARTHELEMY – J.L. BAULIEU – C. BERGER – JC. BESNARD – P. BEUTTER – C. BONNARD – P. BONNET – P. BOUGNOUX – P. BURDIN – G. CALAIS – L. CASTELLANI – J. CHANDENIER – A. CHANTEPIE – B. CHARBONNIER – P. CHOUTET – T. CONSTANS – C. COUET – L. DE LA LANDE DE CALAN – P. DUMONT – J.P. FAUCHIER – F. FETISSOF – J. FUSCIARDI – P. GAILLARD – G. GINIES – D. GOGA – A. GOUDEAU – J.L. GUILMOT – O. HAILLOT – N. HUTEN – M. JAN – J.P. LAMAGNERE – F. LAMISSE – Y. LANSON – O. LE FLOCH – Y. LEBRANCHU – E. LECA – P. LECOMTE – AM. LEHR-DRYLEWICZ – E. LEMARIE – G. LEROY – G. LORETTE – M. MARCHAND – C. MAURAGE – C. MERCIER – J. MOLINE – C. MORAIN – J.P. MUH – J. MURAT – H. NIVET – D. PERROTIN – L. POURCELOT – R. QUENTIN – P. RAYNAUD – D. RICHARD-LENOBLE – A. ROBIER – J.C. ROLLAND – P. ROSSET – D. ROYERE – A. SAINDELLE – E. SALIBA – J.J. SANTINI – D. SAUVAGE – D. SIRINELLI – J. WEILL

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

AMELOT Aymeric.....	Neurochirurgie
ANDRES Christian.....	Biochimie et biologie moléculaire
ANGOULVANT Denis.....	Cardiologie
APETOH Lionel.....	Immunologie
AUDEMARD-VERGER Alexandra.....	Médecine interne
BACLE Guillaume.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BAKHOS David.....	Oto-rhino-laryngologie
BALLON Nicolas.....	Psychiatrie ; addictologie
BARILLOT Isabelle.....	Cancérologie ; radiothérapie
BARON Christophe.....	Immunologie
BEJAN-ANGOULVANT Théodora.....	Pharmacologie clinique
BERHOUE Julien.....	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BERNARD Anne.....	Cardiologie
BISSON Arnaud.....	Cardiologie
BLANCHARD-LAUMONNIER Emmanuelle.....	Biologie cellulaire
BLASCO Hélène.....	Biochimie et biologie moléculaire
BONNET-BRILHAULT Frédérique.....	Physiologie
BOULOIS Grégoire.....	Radiologie et imagerie médicale
BOURGUIGNON Thierry.....	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BRUNAULT Paul.....	Psychiatrie d'adultes, addictologie
BRUNEREAU Laurent.....	Radiologie et imagerie médicale
BRUYERE Franck.....	Urologie
BUCHLER Matthias.....	Néphrologie
CAILLE Agnès.....	Biostat., informatique médical et technologies de communication
CAMUS Vincent.....	Psychiatrie d'adultes
CARVAJAL-ALLEGRIA Guillermo.....	Rhumatologie
CHAUMIER François.....	Médecine palliative
CORCIA Philippe.....	Neurologie
COTTIER Jean-Philippe.....	Radiologie et imagerie médicale
DE LUCA Arnaud.....	Nutrition
DEQUIN Pierre-François.....	Thérapeutique
DESMIDT Thomas.....	Psychiatrie
DESOUBEUX Guillaume.....	Parasitologie et mycologie
DESTRIEUX Christophe.....	Anatomie
DI GUISTO Caroline.....	Gynécologie obstétrique
DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague.....	Anatomie & cytologie pathologiques
DUCLUZEAU Pierre-Henri.....	Endocrinologie, diabétologie, et nutrition
EHRMANN Stephan.....	Médecine intensive – réanimation
EL HAGE Wissam.....	Psychiatrie adultes
ELKRIEF Laure.....	Hépatologie – gastroentérologie
ESPITALIER Fabien.....	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
FAUCHIER Laurent.....	Cardiologie
FOUGERE Bertrand.....	Gériatrie et biologie du vieillissement
FRANCOIS Patrick.....	Neurochirurgie
GATAULT Philippe.....	Néphrologie
GAUDY-GRAFFIN Catherine.....	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
GOUPILLE Philippe.....	Rhumatologie
GUERIF Fabrice.....	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
GUILLON Antoine.....	Médecine intensive – réanimation
GUILLON-GRAMMATICO Leslie.....	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GUYETANT Serge.....	Anatomie et cytologie pathologiques
GYAN Emmanuel.....	Hématologie, transfusion
HALIMI Jean-Michel.....	Thérapeutique
HERAULT Olivier.....	Hématologie, transfusion
HERBRETEAU Denis.....	Radiologie et imagerie médicale
HOURIOUX Christophe.....	Biologie cellulaire
IVANES Fabrice.....	Physiologie
JOUAN Youenn.....	Médecine intensive-réanimation
KERVARREC Thibault.....	Anatomie et cytologie pathologiques
LABARTHE François.....	Pédiatrie
LAFFON Marc.....	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LARDY Hubert.....	Chirurgie infantile
LARIBI Saïd.....	Médecine d'urgence
LARTIGUE Marie-Frédérique.....	Bactériologie-virologie

LAURE Boris.....	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
LE NAIL Louis-Romée	Cancérologie, radiothérapie
LECOMTE Thierry	Gastroentérologie, hépatologie
LEDUCQ Sophie	Dermatologie
LEFORT Bruno.....	Pédiatrie
LEGRAS Antoine	Chirurgie thoracique
LEMAIGNEN Adrien	Maladies infectieuses
LESCANNE Emmanuel	Oto-rhino-laryngologie
LEVESQUE Éric	Anesthésiologie et réanimation chirurgicale, médecine d'urgence
LINASSIER Claude	Cancérologie, radiothérapie
MACHET Laurent	Dermato-vénéréologie
MAILLOT François	Médecine interne
MARCHAND-ADAM Sylvain.....	Pneumologie
MARRET Henri	Gynécologie-obstétrique
MARUANI Annabel.....	Dermatologie-vénéréologie
MEREGHETTI Laurent.....	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
MITANCHEZ Delphine	Pédiatrie
MOREL Baptiste.....	Radiologie pédiatrique
MORINIERE Sylvain	Oto-rhino-laryngologie
MOUSSATA Driffa	Gastro-entérologie
MULLEMAN Denis.....	Rhumatologie
ODENT Thierry	Chirurgie infantile
OUAÏSSI Mehdi	Chirurgie digestive
OULDAMER Lobna.....	Gynécologie-obstétrique
PARE Arnaud	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
PASI Marco.....	Neurologie
PERROTIN Franck	Gynécologie-obstétrique
PISELLA Pierre-Jean.....	Ophtalmologie
PLANTIER Laurent.....	Physiologie
REMERAND Francis.....	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
ROINGEARD Philippe.....	Biologie cellulaire
RUSCH Emmanuel.....	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
SAINT-MARTIN Pauline	Médecine légale et droit de la santé
SALAME Ephrem.....	Chirurgie digestive
SAMIMI Mahtab.....	Dermatologie-vénéréologie
SANTIAGO-RIBEIRO Maria	Biophysique et médecine nucléaire
SAUTENET-BIGOT Bénédicte.....	Thérapeutique
THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
VOURC'H Patrick.....	Biochimie et biologie moléculaire
WATIER Hervé	Immunologie
ZEMMOURA Ilyess	Neurochirurgie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

DIBAO-DINA Clarisse
LEBEAU Jean-Pierre
PAUTRAT Maxime

PROFESSEURS ASSOCIES

BARBEAU Ludivine Médecine Générale || LIMA MALDONADO Igor..... | Anatomie |
MALLET Donatien.....	Soins palliatifs
SAMKO Boris.....	Médecine générale
RUIZ Christophe	Médecine générale

PROFESSEUR CERTIFIE DU 2ND DEGRE

MC CARTHY Catherine.....Anglais

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

CANCEL Mathilde	Cancérologie, radiothérapie
CHESNAY Adélaïde	Parasitologie et mycologie
DE FREMINVILLE Jean-Baptiste	Cardiologie
DOMELIER Anne-Sophie	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
DUFOUR Diane	Biophysique et médecine nucléaire
EYMIEUX Sébastien	Biologie cellulaire
FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie	Anatomie et cytologie pathologiques
GARGOT Thomas	Pédopsychiatrie
GOUILLEUX Valérie	Immunologie
HOARAU Cyrille	Immunologie
KHANNA Raoul Kanav	Ophtalmologie
LE GUELLEC Chantal	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
LE TILLY Olivier	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
LEJEUNE Julien	Hématologie, transfusion
LEROY Victoire	Médecine interne
MORICE Anne	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie
MOUMNEH Thomas	Médecine d'urgence
PASTUSZKA Adeline	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
PIVER Éric	Biochimie et biologie moléculaire
RAVALET Noémie	Hématologie, transfusion
ROUMY Jérôme	Biophysique et médecine nucléaire
STANDLEY-MIQUELESTORENA Elodie	Anatomie et cytologie pathologiques
STEFIC Karl	Bactériologie
TERNANT David	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
VALLET Nicolas	Hématologie, transfusion
VAYNE Caroline	Hématologie, transfusion
VIUILLAUUE-WINTER Marie-Laure	Génétique

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

AGUILLON-HERNANDEZ Nadia	Neurosciences
AUBRY Jean-Denis	Sciences infirmières
BLANC Romuald	Orthophonie
EL AKIKI Carole	Orthophonie
NICOGLU Antonine	Philosophie – histoire des sciences et des techniques
PATIENT Romuald	Biologie cellulaire
RENOUX-JACQUET Cécile	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

AUMARECHAL Alain	Médecine Générale
BALAND Thierry	Médecine Générale
CHALEIX Lysiane	Médecine Générale
CHAMANT Christelle	Médecine Générale
DUMAS Adrien	Médecine Générale
ETTORI Isabelle	Médecine Générale
MOLINA Valérie	Médecine Générale
PHILIPPE Laurence	Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS - INRAE

BECKER Jérôme.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BLOCH Solal	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BOUAKAZ Ayache	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BOUTIN Hervé.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
BRIARD Benoit.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
DE ROCQUIGNY Hugues.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
ESCOFFRE Jean-Michel.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
GILOT Philippe	Chargé de Recherche Inrae – UMR Inrae 1282
GOMOT Marie	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
GOUILLEUX Fabrice	Directeur de Recherche CNRS – UMR Inserm 1100
GUEGUINOU Maxime	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1069
HAASE Georg	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
HENRI Sandrine	Directrice de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
HEUZE-VOURCH Nathalie.....	Directrice de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
KORKMAZ Brice.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
LABOUTE Thibaut.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
LATINUS Marianne	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
LAUMONNIER Frédéric.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
LE MERRER Julie.....	Directrice de Recherche CNRS – UMR Inserm 1253
MAMMANO Fabrizio	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1259
PAGET Christophe.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
RAOUL William.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1069
SECHER Thomas.....	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
SI TAHAR Mustapha.....	Directeur de Recherche Inserm – UMR Inserm 1100
SUREAU Camille	Directeur de Recherche émérite CNRS – UMR Inserm 1259
TANTI Arnaud	Chargé de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253
WARDAK Claire	Chargée de Recherche Inserm – UMR Inserm 1253

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour l'éthique médicale

BIRMELE Béatrice.....	Praticien Hospitalier
LEONARD Thomas.....	Praticien Hospitalier

Pour la médecine manuelle et l'ostéopathie médicale

LAMANDE Marc	Praticien Hospitalier
--------------------	-----------------------

Pour l'orthophonie

BATAILLE Magalie.....	Orthophoniste
CABANNE-Hardy Marie-Charlotte	Orthophoniste
CLOUTOUR Nathalie	Orthophoniste
CORBINEAU Mathilde	Orthophoniste
GLAIE Axelle	Orthophoniste
HARIVEL OUALLI Ingrid.....	Orthophoniste
IMBERT Mélanie	Orthophoniste
MORIN Eléonore.....	Orthophoniste
NAL Emmanuel	Praticien Hospitalier
PILLER Anne-Gaëlle.....	Orthophoniste
PUJOLE Dorine.....	Orthophoniste
ROUVRE Olivier	Orthophoniste
SIZARET Eva	Orthophoniste
TAMIATTO Zinaida	Orthophoniste

Pour l'orthoptie

BOULNOIS Sandrine.....	Orthoptiste
SALAME Najwa.....	Orthoptiste

Pour la santé au travail

MONMOUSSEAU Fanny	Praticien Hospitalier
NGUYEN Duc Qui	Dirigeant d'entreprise

Pour la Médecine Générale

LOISON Clotilde.....	Médecin Généraliste
----------------------	---------------------

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des enseignants et enseignantes
de cette Faculté,
de mes chers condisciples
et selon la tradition d'Hippocrate,
je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur
et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuits aux indigents,
et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis(e) dans l'intérieur des maisons, mes yeux
ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira
les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas
à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Respectueux(euse) et reconnaissant(e) envers mes Maîtres,
je rendrai à leurs enfants
l'instruction que j'ai reçue de leurs parents.

Que les hommes et les femmes m'accordent leur estime
si je suis fidèle à mes promesses.
Que je sois couvert(e) d'opprobre
et méprisé(e) de mes confrères et consœurs
si j'y manque.

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury

A monsieur le Pr Boris LAURE, *Président du jury*

Je vous remercie pour l'honneur et le plaisir que vous me faites en présidant ce jury.

Vos compétences chirurgicales et votre rigueur ne peuvent que nous impressionner. Vous nous poussez à lire, à chercher par nos propres moyens afin de nous instruire, d'enrichir notre culture chirurgicale (et zoologique) mais surtout pour nous éviter vos regards consternés devant nos lacunes. Ce fut une réelle chance de profiter de votre expertise dans le domaine de la chirurgie cranio-faciale pour travailler sur ce sujet de thèse. Merci de nous faire connaître Paul Tessier et ses instruments car avec vous au bloc, ils s'appellent tous Tessier. Pour le « ski nautique » au bloc et les « sans déconner, j'en chialerais ».

Recevez l'expression de mon profond respect et le témoignage de ma sincère considération.

A monsieur le Pr Arnaud PARE,

Je vous remercie d'avoir accepté et de me faire l'honneur d'être membre de ce jury.

Je comprends votre attrait pour les défis de la reconstruction. Les premières heures au bloc à vos côtés ont été source de stress mais je vous remercie de m'avoir laissé la main avec patience et bienveillance. Je fais désormais davantage attention sur les curages à gauche. Merci de vous impliquer pour ma formation, notamment pour la préparation du M2.

Recevez l'expression de mon profond respect.

A monsieur le Pr Baptiste MOREL,

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury et vous suis reconnaissante pour la base de données des scanners que vous avez pu nous fournir.

Recevez l'expression de mon profond respect.

A monsieur le Dr Éric ARNAUD,

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury et vous suis reconnaissante pour l'expertise que vous apporterez à ce travail.

Recevez l'expression de mon profond respect.

A madame le Dr Nadine TRAVERS,

Je vous remercie d'avoir accepté et de me faire l'honneur d'être membre de ce jury.

Il me semblait impensable de soutenir cette thèse sans le regard du neurochirurgien pédiatre.

Véritable médecin pour le patient, l'humanité que vous dégagez nous interpelle tous. Merci Nadine pour le partage de vos connaissances. Votre sens clinique ne cessera de m'épater. Vous avez le diagnostic avant même de voir l'imagerie.

Recevez l'expression de mon profond respect.

A madame le Dr Anne MORICE, *Directrice de thèse,*

Je vous remercie infiniment de m'avoir encadrée avec tant de bienveillance et de disponibilité pour ce projet. Il n'aurait jamais abouti sans votre travail de relecture et de précision. Le travail sous votre direction fut agréable et source d'apprentissages. Merci pour la partie universitaire que vous apportez dans notre service.

Recevez l'expression de mon profond respect.

A mes maîtres de chirurgie et à leurs équipes

La chirurgie maxillo-faciale du CHU de Tours

Au Dr Queiros. Chrystelle, je crois que l'on est unanime lorsque l'on dit que tu es un modèle tant chirurgicalement qu'humainement. Ton implication dans le service et pour les internes est appréciable et appréciée. Tu nous donnes envie de faire de notre mieux, afin de ne pas te décevoir. Merci pour cette première mandibule en solo pendant que tu opérerais dans la salle d'en face.

Au Dr Joly, notre chef de pédiatrie. Aline, merci de m'avoir bousculée en me proposant cette communication à Lausanne. Je me revois sur le premier temps de fente labio-palatine avec toi, alors jeune interne, j'acquiesçais à chacune de tes paroles mais j'étais complètement perdue. Heureusement les choses ont évolué depuis. Merci de prendre le temps pour nous, qu'il s'agisse de chirurgie ou non.

Au Dr Chastanet, qui a été ma première chef de CMF. Ta rigueur et ton exigence tant en consultation qu'au bloc ont été appliquées (quasi) à la lettre depuis le début. Merci Sarah.

Au Dr Callaud. Gauthier, à tes côtés la chirurgie semble si simple. Merci pour ta bonne humeur au bloc et pour les expérimentations en astreinte (le fixateur externe sur la mandibule un samedi).

Au Dr Ségolène Reiss, toujours disponible pour nous aider même dans les plans bancals. Je te souhaite d'être heureuse avec Elias à tes côtés. Je suis ravie de te savoir épanouie à Paris.

Au Dr Kulker. Dimitri, toi qui m'as appris les rudiments de la CMF. Je revois parfois ta consternation devant certaines de mes questions d'interne de premier semestre. J'apprécie également nos échanges hors médecine. Merci d'être tel que tu es, je sais que l'on peut compter sur toi.

Au Dr Louisy. Agathe, merci de m'avoir appris les bases en stomato. Ravie de partager certains centres d'intérêt avec toi, parfois bien éloignés de la chirurgie. C'était un plaisir de t'avoir retrouvée à Nantes.

A mes co-interne tourangeaux sans qui les journées seraient parfois plus longues et difficiles. Cerise, pour les sessions commérages et les échanges plus pertinents. Thomas, ton flegme et tes compétences chirurgicales m'épateront toujours. Suzanne, devenue bien plus qu'une simple co-interne avec ces 6 mois passés à Orléans. Merci de m'aider à décrocher de l'hôpital et à sociabiliser. Hélène, la plus rigoureuse de toute et la sportive. Joyeux Anniversaire au passage ! Camille, la discrète. J'espère que tu seras heureuse en radiologie. On t'appellera pour les scanners à J1. Clara, bienvenue dans le bazar organisé du service de CMF de Tours. Arnaud, qui connaît toutes les dernières études et publications dans son domaine.

Aux inter-CHU qui ont contribué à ma formation et aux fous-rires : Amaury Derquenne, Julien Bouquet, David Poisbleau, Léa Périers, Adèle Traoré, Nolwenn Piot, Alicia Nuffer, Théo Meurice, Marine Bourtoul, Laure Franchomme. Marine, nous avons formé un sacré binôme pendant 3 mois, je t'en remercie. Vive le Bourtoulisme.

Aux infirmières de consultation, mes mamans. Patricia, Gabrielle, Cécile, Valérie, Aurélie et Hélène. Je suis arrivée toute jeune ne sachant pas faire un pansement, voici le jour où je deviens grande. Les locales et les consultations seraient tellement plus fastidieuses sans vous. Alors tout simplement merci.

Aux IBODE, vous qui êtes nos aides précieuses à chaque intervention. En journée ou en astreinte.

Aux IDE et AS du 11^{ème}. Vous qui êtes nos yeux et nos oreilles. Merci pour votre travail au quotidien et pour votre gentillesse lors des astreintes.

Aux secrétaires de PMF, vous qui œuvrez dans l'ombre pour que tout se déroule pour le mieux. Merci particulièrement à Delphine, pour l'aide apportée dans ce travail à réceptionner les scanners de l'étranger.

La neurochirurgie du CHU de Tours

A mes co-internes Etienne, Raphaël, Clémentine, Chakib. Grâce à vous j'ai passé 6 mois mémorables dans ce service. Alexia, alors toute jeune DJ mais tellement douée chirurgicalement et souriante. Je crois que je me souviendrai longtemps de cet extradural chez ce bébé de 9 mois.

Au professeur Velut qui m'a permis de découvrir cette spécialité en m'acceptant dans son service. Vos compétences chirurgicales et vos connaissances forcent le respect. Merci d'avoir éveillé mon esprit à certaines questions philosophiques.

Au professeur Destrieux, qui s'avère chaleureux et bienveillant avec les internes.

Au professeur Patrick François. C'était toujours avec un peu d'appréhension que j'allais sur vos blocs le lundi, car il fallait aller vite. En revanche, les jeudis j'étais toujours présente pour les MSO. J'ai respecté le contrat de ne prendre aucune garde le lundi afin que vous puissiez dormir. Merci de m'avoir aidée à discerner lors de mon doute de changement de spécialité.

Au professeur Zemmoura, qui a effectué courageusement de nombreuses gardes le mardi avec l'interne de maxillo pendant ces 6 mois. J'ai beaucoup apprécié les blocs à vos côtés. Merci pour votre patience, votre calme et pour la première fermeture de dure-mère, marque de confiance à mon égard.

Au Dr Aggad. Mourad, s'il m'arrive une bricole neurochirurgicale un jour, je souhaite que tu sois celui qui m'opère. Je sais que tout sera parfait, y compris la cicatrice. On ne peut que se sentir petit à tes côtés, tant physiquement que chirurgicalement. A chaque fois que je récite les collatérales de la carotide externe je pense à toi.

Au Dr Listrat, qui m'a permis d'opérer ma première sténose lombaire comme une grande. Merci pour votre bonne humeur communicative, qui rend agréable le compagnonnage chirurgical.

Et enfin au Pr Amelot. Tu n'étais qu'un petit PH d'une petite ville de province lorsque j'ai débarqué dans ton bloc le premier jour de ce semestre. Les innombrables heures passées assise dans ton bureau, sur ta fausse pelouse verte à échanger et à rigoler restent gravées dans ma mémoire. J'apprécie pouvoir revenir de temps à autre. Les heures au bloc, à opérer des rachis à tes côtés, ont été source de rires, d'enseignements et de renforcement musculaire. Aymeric, merci pour tout.

La chirurgie maxillo-faciale d'Orléans

Aux Dr Poinard, Eyraud, Aouina et Landoulsi. Ces 6 mois à Orléans m'ont permis de découvrir une autre activité de la CMF.

Merci Ghada pour tous ces échanges. Tu m'as impressionnée par tes connaissances théoriques et ta détermination pour accomplir tes objectifs.

Merci Quentin de m'avoir fait suffisamment confiance pour me laisser la main au bloc, le tout dans une ambiance sans stress.

L'ORL du CHU de Tours

A Eliott, Léo, Lucrèce, Pauline, Marie, Naief, Chakib, mes co internes. Vous qui avez eu la patience de m'aider avec les consultations d'oreilles, les défis du microscope et des premiers audiogrammes. Je vous l'accorde, pour les vertiges j'ai rendu les armes très vite notamment pour les VHIT. Merci de m'avoir offert du temps pour faire mon recueil de données pour cette thèse. Vous êtes également experts désormais pour mesurer la distance inter-orbitaire.

A Luc Boullaud, mon sénior pour ces 6 mois en ORL. Quel défi pour toi de finir ton clinicat avec une interne de maxillo en guise de binôme. Il me semble qu'il est parfois difficile de transmettre aux plus

jeunes mais finalement je crois que nous avons réussi à trouver un bon équilibre et j'ai appris plus que tu ne le crois à tes côtés.

Aux professeurs Morinière, Lescanne, Bakhos, aux docteurs Aussédad, Pinlong, Marmouset, Pondaven, Trinh Vous m'avez accueillie dans votre service afin que je puisse mesurer la complémentarité de nos deux spécialités. Je vous en remercie.

La chirurgie maxillo-faciale du CHU de Nantes

Au Professeur Corre. Le tutoiement ne sera jamais d'actualité, à votre grand regret. Merci de m'avoir acceptée à vos côtés pendant ces 6 mois. Votre humanité et votre disponibilité pour nous rendent agréable l'apprentissage de la chirurgie. Merci pour toutes ces notions transmises, notamment en orthognathique et en pédiatrie. Je me sais chanceuse d'avoir pu bénéficier de votre enseignement au bloc, dans les couloirs lors de tous ces trajets pour la pédiatrie et en consultation.

Aux autres chefs de CMF, le Dr Longis, le Dr Loin, le Dr Bertin, le Dr Guyonvarc'h, le Dr Mafféis, le Dr Dugast et le Dr Derquenne. Merci pour votre accessibilité et votre bienveillance. Ce fut un réel plaisir de côtoyer votre équipe.

A la fabuleuse équipe d'internes du semestre hivernal nantais : Alexandre, Clément, Gabriel, Jérémy, Martin, Maxence, Moussa, Nicolas, Pierre et Adeline. Qu'il fut aisé de travailler en riant avec une troupe de guignols comme la vôtre. J'ai passé un merveilleux semestre à vos côtés. Merci pour vos conseils, votre aide, les fous rires et la bonne humeur. Mention spéciale à Maxence, mon binôme pendant ces 6 mois. Pour l'aide apportée, les conseils, les encouragements, les « GG » au bloc lorsque je ne suis pas sûre de moi. Et pour toutes les fois où j'ai pu m'échapper plus tôt de l'hôpital. Mention spéciale également à Moussa, qui s'est mis à genou pour avoir sa petite phrase dans ces remerciements.

A ma famille

A mes parents,

Merci pour l'enfance que vous nous avez offerte. Vous pourriez ouvrir une compagnie de taxi avec tous les trajets effectués.

A papa, chirurgien et père de famille.

Véritable figure masculine pour notre tribu majoritairement féminine.

Ta droiture héritée de grand-père Jacques est un modèle pour moi.

Merci pour les trajets réalisés lors de ma P1 où tous les mercredi soirs tu m'entendais pester contre le major de promo en ouvrant la portière de la voiture.

La pudeur est une histoire familiale, mais j'espère te rendre fier en rejoignant le banc des chirurgiens de notre famille.

A maman, chirurgien et mère de famille.

Véritable modèle d'ambition et de résilience. Tu as placé la barre très haut en termes d'exigences envers toi-même et par ricochet sur les autres, notamment envers nous.

Merci de nous avoir poussés toujours plus loin pour viser toujours plus haut.

Merci pour les boîtes du dimanche soir.

Par la soutenance de cette thèse j'espère te prouver que tous tes sacrifices ont porté leurs fruits.

A ma fratrie,

A Eugénie, n°2 de la fratrie. Longtemps prises pour jumelles, nous sommes pourtant bien différentes.

Tu as choisi de tracer un chemin loin de la médecine. Ta force réside en ta capacité à savoir te détacher de ce que pensent les autres lorsqu'il le faut. Plus discrète mais affirmée, tu mènes ta barque. J'espère qu'elle te mènera où tu le désires.

A Aliénor, n°3 de la fratrie. Différentes à première vue, mais pourtant bien similaires.

Tu as choisi d'arpenter la même voie de la chirurgie, je te laisse les odeurs de la dig. Ton choix de ville n'a pas été aisé mais je pense qu'une fois de plus, maman avait raison. Merci de ta confiance lors de tes résultats.

Ces années en colocation à Rouen n'auront fait que confirmer que nos cerveaux fonctionnent de la même façon, d'où les éclats de voix parfois mais aussi les éclats de rire.

A Louis, n°4 de la fratrie. Le seul et l'unique garçon.

Je ne te plaindrai pas car tu es et resteras notre chouchou. Tu as fait preuve d'une grande maturité dans tes études et te voilà récompensé. Tu vas pouvoir tracer ton chemin. Merci pour ton aide de dernière minute pour le codage Python de cette thèse. J'espère que tu sais pouvoir compter sur moi également.

A Hortense, n°5 de la fratrie et A Gabrielle n°6 de la fratrie.

Votre arrivée est venue enrichir le volume sonore à la maison. Tant pas les rires, les éclats de voix et les coups d'archer.

Je suis la grande sœur un peu rigide mais aussi votre conseillère en look attitré.

Ayez à cœur de devenir deux jeunes femmes épanouies et exigeantes envers elles-mêmes, en réalisant vos propres aspirations.

Mes grands parents

Grand-mère Hélène, véritable pilier et phare dans la vie de tes petits enfants. Je sais que tu es fière de chacun d'entre nous. Tu as fait germer dans nos esprits l'importance de la famille, avec les joies et les efforts que cela implique.

Merci d'être à mes côtés à chaque étape. Aujourd'hui c'est un pas de plus dans la réalisation de mon

devoir d'état, que j'espère réaliser toute ma vie avec la même droiture que grand père Jacques. J'ai conscience de la richesse de notre histoire familiale.

Grand-père Dominique et Lydia. La pudeur n'empêche pas la tendresse que nous avons pour vous. Grand-père, ton exigence de réussite professionnelle a rebondi sur notre génération également alors merci.

Grand-mère Lydie que je n'ai pas connue mais qui veille sur chacun.

Ma marraine

Très chère marraine, tu sais à quel point je chéris notre relation et je ne serais pas ici aujourd'hui sans toi. Merci d'être une oreille attentive et de savoir m'épauler lorsque j'en ai besoin.

Merci de m'avoir transmis ton attrait pour les musées, la mode, les cosmétiques, la lecture.

Merci d'avoir accepté ce job confié par papa et maman lors de mon baptême.

Merci également à Anne qui est présente pour nous 6 et qui arrive à détendre l'atmosphère à Sainte Adresse lorsqu'il le faut. Belle preuve d'amitié au fil des ans avec maman.

Le clan Pech de Laclause

Aux cousins (Alban, Grégoire, Quiterie, Tristan, Marie, Astrid, Xavier, Maïlys, Claire, Jean, Louis) et aux +1 (Eugénie, Rémy, Grégoire, Romain, Adeline). A toutes les vacances passées à Sigean, mention spéciale pour les Noëls.

Marie, très chère cousine, merci de ta confiance lorsque tu m'as choisie comme marraine pour Anastasia. Merci pour notre complicité.

A la fratrie de papa. Oncle François, Oncle Vincent et Tante Marie. Si différents et pourtant si Pech de Laclause. A tante Marie-Hélène, tante Gaëlle et oncle Laurent. Merci d'avoir contribué à former ce clan des Péchus.

La famille Hugueny

Ploplo, qui nous accueille à la campagne pendant nos révisions et nous choie comme des rois.

Agnès, qui nous régale avec ses douceurs.

Françoise et Patrick. Angélique et Guillaume. Arnaud. Stéphane. Et les cousins Victor, Edouard, Ludivine, Justine, Valentin.

A mes amis

Dans l'ordre d'apparition chronologique, par souci de facilité. Parce que l'amitié est exigeante mais qu'elle est source de joies.

Florine, je ne vais pas réécrire mon discours pour ton mariage ici. Tu sais ce que représente notre amitié à mes yeux. Merci pour ton aide dans la réalisation de ce travail. En espérant que tu n'accoucheras pas pendant cette soutenance de thèse.

Pauline, Sixtine, Quitterie, Clarisse, Orianne. Avec vous c'est l'Amitié avec un grand A, ses joies, ses défis, ses peines et les enjeux vestimentaires des mariages. Quelle chance j'ai eu de vous rencontrer. Avec le scoutisme pour point de départ commun, chacune a suivi son chemin.

Pauline, merci de m'avoir confié ce rôle de témoin le 26/08/2023. Je chéris nos échanges épistolaires, nos nombreuses heures passées à refaire le monde, à marcher en Bretagne, à boire des thés partout et nulle part. Si seulement Toulouse était la porte à côté.

Sixtine, merci de m'avoir confié ce rôle de témoin le 28/07/2021. Ma belle Sixtine, ma confidente et mon acolyte pour les virées shopping. Quel bonheur de te voir t'épanouir dans ton travail et ton rôle de mère. Je crois que François mérite un nouveau merci de ma part en te rendant heureuse. Merci de me faire confiance pour être la marraine de Colombe.

Clarisse, l'amie ambitieuse qui vit sa passion professionnelle autant que moi. Malgré toutes tes explications, je dois concéder que je ne comprends toujours pas ton job. Le jour où tu seras présidente ou député européen ou PDG de Safran j'espère que tu continueras à m'appeler pour tes questions médicales ou pour partager tes questions existentielles. Je suis sûre que le père Sèbe veille sur nous. Et vive l'île de Ré !

Quitterie, nos chemins ne se croisent moins souvent mais je n'oublie pas nos années aux guides-ainées et les responsabilités que nous avons endossées avec Clarisse. Heureusement que nous étions jeunes et insouciantes finalement. Quelle joie la naissance de Philippe.

Orianne, toujours bien apprêtée. Une main de fer dans un gant de velours. Tu m'impressionnes avec ton rythme de maman, orthophoniste et femme de pilote. Bon courage pour l'expatriation. On viendra à Londres pour les magasins.

Et Benjamin, parce que de pièce rapportée (merci Orianne) tu es devenu un véritable ami. J'ai le privilège de pouvoir dire « mon pote pilote de chasse » quand je parle de toi. J'espère que tu fais de même quand tu parles de moi « ma pote chirurgien ». C'est bon pour l'égo. Merci d'être un si bon cavalier sur la piste et de m'aider à assumer mon exigence dans ma vie pro et perso. N'oublie pas la précision chirurgicale là-haut et moi je réalise la check-list avant d'inciser.

A Eddy et Kenza, les amis de la fac. J'ai hâte d'assister à votre mariage. Eddy, merci d'avoir fait confiance à mes goûts pour le choix de la bague. Bientôt le choix du costume. Merci pour cette amitié que tu m'offres. Kenza, Dr Chikh, j'espère que tes parents sont fiers de toi. Moi je le suis.

Abdel, j'aurais tous les deux, voisins à Rouen, nous avons échoué à Tours. Merci pour tes râleries, tes fous rires et tes relectures de discours et topos. Ta capacité à passer outre les remarques des idiots m'impressionne. Je te souhaite sincèrement d'être heureux chirurgicalement et personnellement.

Noémie, la gynécologue rencontrée à l'école de chirurgie. Tu étais l'interne raffinée avec ce petit truc en plus qui m'a rappelé mes amies. Pour ce que l'on partage dans nos vies d'internes de chir mais également en dehors. Sache que tu peux te reconverter en tant qu'interprète ou organisatrice de voyages si tu satures de l'hôpital.

Clara, la chirurgien digestif rencontrée surtout à Orléans. Vue de loin notre amitié peut interpeler mais je sais que je peux compter sur toi au CHU et en dehors. Voyager à tes côtés en Italie était d'une simplicité appréciable. Alors tout simplement merci.

Emma, la gynécologue rencontrée à Orléans. Merci pour ta joie de vivre communicative et tes talents culinaires. Attention aux feux rouges en sortie de garde.

A Eyriann, la dermato que je peux solliciter au CHU et en dehors. Nos centres d'intérêts communs hors médecine contribuent à mon bon équilibre à Tours.

TABLE DES MATIERES

RESUME	2
SUMMARY	3
SERMENT d'HIPPOCRATE	9
REMERCIEMENTS.....	10
INTRODUCTION	19
PARTIE I : Article 1 :	21
PARTIE II : Article 2 :	40
CONCLUSION	55

INTRODUCTION

Au-delà de leur rôle de protection des globes oculaires, les orbites osseuses ont également un rôle dans l'esthétique du visage. De nombreuses anomalies crânio-faciales peuvent atteindre les orbites, ainsi une bonne connaissance de la croissance orbitaire est indispensable pour distinguer le physiologique du pathologique.

L'hypertélorisme orbitaire, décrit pour la première fois en 1924 par Greig, correspond à une augmentation pathologique de l'espace séparant les orbites. Il s'agit d'une manifestation clinique pouvant être présente dans diverses malformations crânio-faciales. Cette anomalie orbitaire est un véritable défi chirurgical avec de nombreux enjeux, fonctionnels et esthétiques. La collaboration de deux chirurgiens français, Paul Tessier, chirurgien craniofacial, et Gérard Guiot, neurochirurgien, pour tenter de traiter un cas sévère d'hypertélorisme orbitaire, aboutira à la naissance de la chirurgie crânio-faciale dans les années 1960 à l'hôpital Foch à Paris.

Les techniques opératoires qui en découlent et qui continuent d'être développées, permettent de corriger l'hypertélorisme orbitaire au cours d'une seule intervention. La disponibilité des scanners et l'utilisation en routine de la chirurgie assistée par ordinateur permettent d'accéder à la réalisation de guides de coupe chirurgicaux afin d'obtenir un résultat post-opératoire prédictible et de diminuer le temps chirurgical. Cependant, il existe encore des résultats perfectibles, avec notamment des récidives, faisant chercher des explications et identifier de potentiels facteurs de risque.

L'objectif de ce travail de thèse est double. La première partie a pour but de quantifier l'évolution de la distance interorbitaire avec l'âge chez des patients sains, dans une population caucasienne, peu décrite dans la littérature. La deuxième partie est dédiée à l'étude de l'évolution des distances orbitaires chez les patients opérés dans notre service d'un hypertélorisme orbitaire. L'ensemble de ces résultats contribuera à une meilleure

compréhension de l'évolution de la croissance orbitaire avec l'âge, en physiologie et en pathologie, afin de déterminer la période la plus propice à une chirurgie correctrice de l'hypertélorisme.

La première partie de ce travail a été soumise comme article dans un journal. (Pech de Laclausse et al, submitted, 2025).

PARTIE I

Assessment of orbital growth parameters in a healthy Caucasian paediatric population based on CT-scan measurements

Mathilde Pech de Laclause¹, Baptiste Morel², Boris Laure¹, Anne Morice¹

¹Department of Paediatric Maxillofacial Surgery and Craniofacial Surgery, Clocheville Hospital, Reference Center for Rare Craniofacial Malformations, Tours University Hospital, Tours, France.

²Department of Paediatric Radiology, Clocheville Hospital, Tours University Hospital, Tours, France.

Corresponding author:

Dr Anne MORICE, MD, PhD

Maxillo-facial and cranio-facial surgery unit, Hôpital Clocheville, CHRU de Tours, 47 boulevard Béranger, 37000 Tours, France

a.morice@chu-tours.fr

ABSTRACT

TITLE: Assessment of orbital growth parameters in a healthy Caucasian paediatric population based on CT-scan measurements

BACKGROUND

The pattern of human orbital growth is an important point of facial development to investigate, due to the many craniofacial abnormalities which can interfere with it. Defining growth patterns is mandatory for guiding diagnostic, evaluation and surgical approach in children with craniofacial abnormalities. However, craniofacial morphology varies across genetic and ethnicities. Although several studies report Asian and American facial characteristics including normal interorbital distance, there is a lack of data concerning Caucasian paediatric healthy populations.

Our study aimed to analyse orbital bone growth based on 3D CT-scan measurements in a healthy paediatric Caucasian population in France.

MATERIALS and METHODS

A retrospective cohort study was conducted, based on craniofacial CT-scans performed in our paediatric center, between 2010 and 2024, in patients aged from 3 months to 10 years. To assess orbital growth, several anatomical landmarks and interorbital distances were defined, including the bony inner interorbital distance (IOD), and the bony lateral orbital distance (LOD). The IOD/LOD ratio was calculated. Mean $\pm$ SD was calculated for IOD, LOD, and IOD/LOD ratio, and statistical comparisons between male's and female's values and between each age group were performed using Mann-Whitney test.

RESULTS

466 CT-scans were analysed in our study (216 females and 250 males), with at least 2 series of measurements for each CT-scan. Intra-observer variability was less than 5%. For each age group, 36 ($\pm$ 4) CT-scans were analysed, Female/Male ratio was 86.4%. The average interorbital distances increased progressively with age, from 18.76 $\pm$ 1.17mm at 3 months of age to 22.79 $\pm$ 1.73 mm at 10 years of age. The most important increase of IOD and LOD values was observed during the first 2 years of age ($p < 0.01$) and between 7 and 8 years of age ($p < 0.05$). The IOD/LOD ratio remained constant with age, showing isometric growth of the orbits.

CONCLUSION

Our study provides detailed age- and sex-specific normative data of orbital measurements in Caucasian children based on CT-scans. Our results highlighted similar orbital growth patterns between Caucasian and Asian populations.

KEYWORDS: interorbital distance, CT-scans, orbital growth, paediatric healthy population

ABBREVIATIONS

IOD: Inner Interorbital Distance

LOD: Lateral Orbital Distance

ICC: Intraclass Correlation Coefficient

SHORT TITLE: Interorbital Distance in Caucasian children

SUMMARY SECTION

-Previous literature: Several studies report Asian and American facial and orbital growth characteristics in healthy populations, but to date, there is a lack of data reporting normal orbital growth patterns in Caucasian populations. Furthermore, several studies report normative values of interorbital distance based on radiographic 2D measurements. Today, CT-scan is available in routine allowing 3D measurements. This study aimed to analyse orbital bone growth based on CT-scan measurements in a healthy paediatric Caucasian population in France.

-Key findings: Based on the evaluation of 466 CT-scans, performed in Caucasian children between 3 months and 10 years, we showed that inner interorbital distances increased progressively from 3 months to 10 years, the highest increase was observed during the first 2 years and between 7 and 8 years of age.

-Knowledge advancements: Our study provides detailed age- and sex-specific normative data of orbital measurements in Caucasian children based on CT-scans. Our results will help to better define the interorbital distance to apply per-operatively for the correction of hypertelorism, according to the age at surgery.

INTRODUCTION

The pattern of human orbital growth is an important point of facial development to investigate, due to the many craniofacial abnormalities requiring surgical procedures which can interfere with it. Interorbital distance can be abnormally increased or decreased in case of hypertelorism or hypotelorism, respectively. Orbital hypotelorism is characterized by reduced interorbital distances, it is often associated with syndromic anomalies.¹ Trigonocephaly is one of the most frequent craniofacial malformations leading to hypotelorism.² It results from the premature closure of the metopic suture causing the inability of the frontal bones to grow laterally, and subsequent reduced interorbital distance.³ Hypotelorism is also described in more than 60 different associated conditions, such as holoprosencephaly, trisomy 13, Coffin-Siris syndrome, Meckel-Gruber syndrome, or Williams syndrome.⁴⁻⁷

Orbital hypertelorism, first described by Greig in 1924, is characterized by increased interorbital inner and lateral orbital distances.⁸ Hypertelorism is observed in various congenital and tumoral craniofacial diseases, such as craniofrontonasal dysplasia, median and paramedian craniofacial clefts, craniosynostosis, mostly Fibroblast Growth Factor Receptor-related syndromes (Crouzon, Apert and Pfeiffer syndromes), frontonasothmoidal tumors, or encephalocele.^{9,10} Orbital hypertelorism is defined by the presence of an interorbital distance (IOD) over 30 mm, it is graded as mild or grade I when IOD is between 30 and 34 mm, as moderate or grade II when IOD is between 35-39 mm, and severe or grade III when IOD is over 40 mm, according to Tessier.⁹ Orbital hypertelorism concerns an increased interorbital distance due to the true lateralization of the entire orbital complex. It must be differentiated from telecanthus, pseudohypertelorism and interorbital hypertelorism. Telecanthus is defined by an excessive inner intercanthal distance and normal outer intercanthal distance without bony lateralization, whereas pseudohypertelorism corresponds to an appearance of excessive

interorbital distance with normal interorbital distance. This is encountered in case of flat nasal bridge, epicanthic folds, exotropia, or narrow palpebral fissures.¹¹

A good knowledge of physiological orbital growth is essential to better assess normal and abnormal orbital development. Craniofacial morphology and growth vary across genetic backgrounds and ethnicities.

Several studies report Asian and American facial and orbital growth characteristics in healthy populations, but to date, there is a lack of data reporting normal orbital growth patterns in Caucasian populations.^{12–19} Surgical correction of craniofacial anomalies interfere with orbital growth, and age at surgery for the correction of hypertelorism is controversial.^{20,21} Applying an overcorrection of the IOD based on the normal IOD values according to the age at surgery, may prevent the risk of relapse particularly in case of early surgical correction.²⁰ Several studies report normative values of interorbital distance based on radiographic 2D measurements.²² However, 3D CT-scan measurements allow more reliable and reproducible measurements than cephalometric measures. Today, CT-scan is available in routine for diagnosis, follow-up, and surgical planning for reconstructive surgery.

Better knowledge of orbital growth will help clinicians and craniofacial surgeons to guide clinical evaluation and surgical planning in children with craniofacial abnormalities affecting the orbits. The aim of our study was to analyse orbital bone growth based on 3D CT-scan measurements in a healthy paediatric Caucasian population.

MATERIALS AND METHODS

Selection of the craniofacial CT-scans used for the analyses was based on a list provided by the Department of Paediatric Radiology (BM); this list reviewed all craniofacial CT scans

retrospectively performed at the Peadiatric University Hospital of Tours, in France, between 2010 and 2024, in patients aged from 3 months to 10 years.

All the CT-scans were produced by using the same multidetector CT-scan machine (SIEMENS® SOMATOM DEFINITION EDGE, 2020) with high-resolution contiguous sections in an axial plane (slice thickness 0.6 mm). CT images were analyzed in bone window. We excluded all patients with a known facial fracture, craniofacial syndrome, infectious or tumoral diseases or previous facial surgery which affect the orbito-facial studied area.

Age groups were categorized as follows: 3-6 months, 6-12 months, 12-18 months, 18-24 months, and then every year until age 10 years of life. The anatomical landmarks used to evaluate interorbital distance were determined by the craniofacial surgeons of our team (BL, AM), in collaboration with our referring peadiatric radiologist (BM) as follows: bony inner interorbital distance (IOD), bony lateral orbital distance (LOD) and the IOD/LOD ratio. These anatomical landmarks were placed at the level of the neuro-ocular plane as described by Cabanis et al.^{23,24} All measurements were performed by the lead author (MPL) to minimize rater error in data collection. The measurements were carried out at least two times and the average was calculated. All image manipulations and measurements were made using the PACS Carestream Philips (Figures 1, 2).

This study was approved by the ethical committee of University Hospital Center of Tours (study approval n° 2024_105).

Statistical analyses

Mean +/- SD was calculated for IOD, LOD, and IOD/LOD ratio. Patient's age and Male/Female ratio were evaluated for each age group. Comparisons between each group ages in total group and between males and females for each age group were conducted (Mann Whitney test). Intraclass correlation coefficients were calculated for each age group. Statistical analyses were

performed using Excel® and Python®. The threshold for statistical significance was set to $p < 0.05$: * $0.01 < p < 0.05$; ** $0.001 < p < 0.01$; *** $p < 0.0001$.

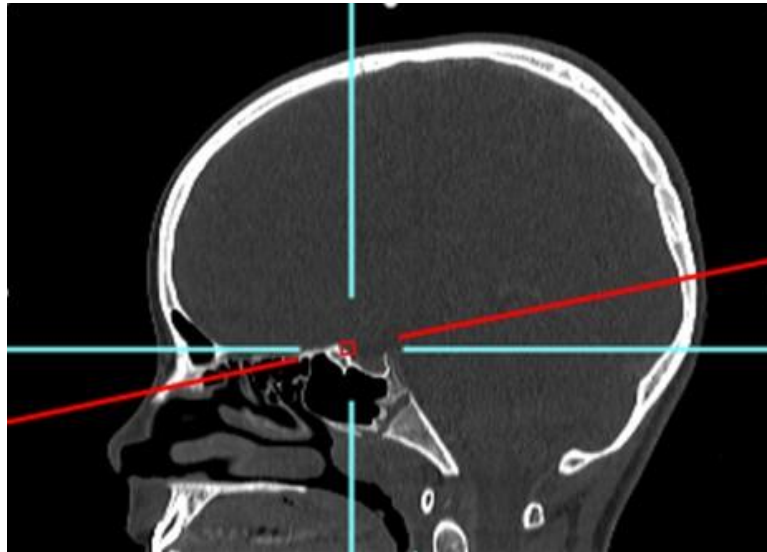


Figure 1: Craniofacial CT-scan, sagittal view. The red line represents the level of neuro-ocular plane as described by Cabanis et al.^{23,24}

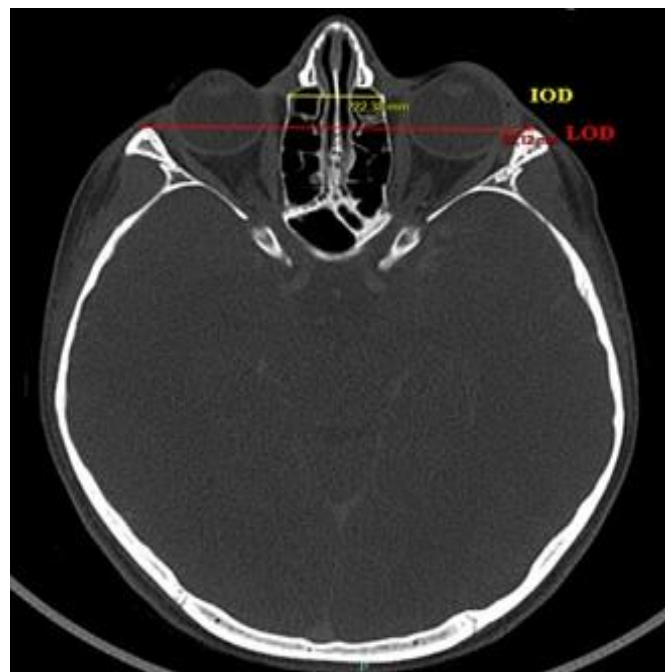


Figure 2: Craniofacial CT-scan, axial view (Cabanis plane). Bony inner interorbital (IOD) and bony lateral orbital (LOD) distances.^{23,24}

RESULTS

In total, 466 Caucasian subjects were included in this study, including 216 (46%) females and 250 males (54%). Two series of measurements for each CT-scan were made and a third reading was performed for 70 patients, when intra-observer variability exceeded 5% between the two series of measurements. In total, 1166 series of CT-scan measurements were realized. Age at evaluation ranged from 3 months old to 10 years and 6 months. The average size of groups was 36 subjects (± 4), ranging from 21 to 45 subjects per group, without significant differences between male and female rates ($p = 0.07$) for each age group. Intraclass correlation coefficients ranged between 0.95 and 0.99 for each age groups (Supplemental Table).

The average inner interorbital distance (IOD) increased progressively with age, from 18.76 ± 1.17 mm at 3 months of age to 22.79 ± 1.73 mm at 10 years of age, with an average increase of 2 % between age groups (from 0.3 to 4.53%) (Figure 3). *Erreur ! Source du renvoi introuvable.* The highest increase of IOD values was observed during the first 2 years of age and between 7 and 8 years of age, with statistically significant differences between these age groups (Figure 3).

Between the age of 3-6 months and the age of 2 years, the mean increase of IOD distance was 4.53%, $p = 0.004$. Between the age of 7 years and the age of 8 years, the mean increase of IOD distance was +4.53%, $p = 0.042$ (Table 1, Figure 3).

We observed a similar pattern of growth concerning the lateral orbital distance (LOD) (Figure 4). Between the age of 3-6 months and the age of 2 years, the mean increase of LOD distance was +9.11%, $p < 0.001$. Between the age of 7 years and the age of 8 years, the mean increase of LOD distance was +3.10%, $p < 0.001$ (Table 2, Figure 4).

The mean IOD/LOD ratio was 0.24 ± 0.004 mm. The IOD/LOD ratio remained constant with age, without significant differences between age groups (Table 3).

No statistically significant difference between females and males was found for inner interorbital distance, excepted at 5, 7 and 10 years of age. In these age groups, males had a wider interorbital distance (+ 1 to 2 mm when compared with female values, $p=0.041$, $p=0.030$, $p=0.009$, respectively) (Table 1).

No statistically significant difference between females and males was found for lateral orbital distance, excepted at 3-6 months, 6-12 months, 3 years and 10 years of age. In these age groups, males had a wider lateral orbital distance (+ 1 to 3 mm when compared with female values, $p=0.002$, $p=0.030$, $p=0.001$, $p=0.023$, respectively) (Table 2).

No statistically significant difference between females and males was observed concerning IOD/LOD ratio (Table 3).

Age group	Number of Subjects per group	Inner Interorbital distance (IOD)			
		Mean +/- Standard Deviation (mm)			
		All (mean +/- SD)	F (mean +/- SD)	M (mean +/- SD)	p-Value*
3-6 mo	33 (13F, 20M)	18.76 +/- 1.17	18.58 +/- 1.25	18.89 +/- 1.13	0.519
6-12 mo	45 (19F, 26M)	18.72 +/- 1.15	18.37 +/- 0.96	18.94 +/- 1.20	0.105
12-18 mo	38 (17F, 21M)	18.81 +/- 1.38	18.44 +/- 1.27	19.11 +/- 1.41	0.161
18-24 mo	21 (11F, 10M)	19.30 +/- 1.68	19.27 +/- 1.86	19.34 +/- 1.55	0.918
2 y	39 (16F, 23M)	19.61 +/- 1.21	19.48 +/- 1.29	19.71 +/- 1.18	0.525
3 y	40 (17F, 23M)	20.22 +/- 1.45	19.76 +/- 1.28	20.57 +/- 1.49	0.120
4 y	35 (17F, 18M)	20.28 +/- 1.50	20.11 +/- 1.38	20.45 +/- 1.62	0.586
5 y	35 (17F, 18M)	20.89 +/- 1.65	20.31 +/- 1.43	21.45 +/- 1.68	0.041*
6 y	37 (20F, 17M)	21.22 +/- 1.63	21.11 +/- 1.61	21.34 +/- 1.69	0.715
7 y	36 (20F, 16M)	21.19 +/- 1.54	21.70 +/- 1.58	20.55 +/- 1.26	0.030*
8 y	33 (15F, 18M)	22.15 +/- 1.84	21.94 +/- 1.86	22.33 +/- 1.86	0.613

9 y	42 (18F, 24M)	22.50 +/- 1.99	22.06 +/- 1.77	22.84 +/- 2.11	0.438
10 y	32 (16F, 16M)	22.79 +/- 1.73	22.03 +/- 1.43	23.55 +/- 1.71	0.009**

Table 1: Bony inner interorbital distances (IOD) values by age group and sex, and comparisons between males and females (*). F = females, M = males, y = years, mo = months.

Age group	Number of CT-scans per group	Lateral Orbital distance (LOD)			
		Mean +/- Standard Deviation (mm)			
		All (mean +/- SD)	F (mean +/- SD)	M (mean +/- SD)	p-Value
3-6 mo	33 (13F, 20M)	74.17 +/- 3.35	72.02 +/- 2.62	75.65 +/- 3.06	0.002**
6-12 mo	45 (19F, 26M)	77.04 +/- 3.00	76.03 +/- 2.71	77.77 +/- 3.03	0.030*
12-18 mo	38 (17F, 21M)	77.62 +/- 3.48	76.68 +/- 3.57	78.38 +/- 3.29	0.123
18-24 mo	21 (11F, 10M)	78.94 +/- 3.42	77.93 +/- 3.86	80.05 +/- 2.60	0.132
2 y	39 (16F, 23M)	80.93 +/- 2.57	80.39 +/- 1.96	81.31 +/- 2.90	0.404
3 y	40 (17F, 23M)	83.52 +/- 2.77	81.90 +/- 1.76	84.71 +/- 2.80	0.001**
4 y	35 (17F, 18M)	84.38 +/- 3.54	82.97 +/- 3.41	85.70 +/- 3.21	0.052
5 y	35 (17F, 18M)	85.53 +/- 2.90	84.39 +/- 2.74	86.60 +/- 2.69	0.044
6 y	37 (20F, 17M)	86.76 +/- 3.25	86.03 +/- 2.67	87.62 +/- 3.72	0.198
7 y	36 (20F, 16M)	87.36 +/- 3.17	87.38 +/- 2.91	87.33 +/- 3.57	0.836
8 y	33 (15F, 18M)	90.07 +/- 2.97	89.40 +/- 3.64	90.62 +/- 2.22	0.556
9 y	42 (18F, 24M)	91.23 +/- 3.01	90.29 +/- 2.62	91.93 +/- 3.14	0.220
10 y	32 (16F, 16M)	92.37 +/- 2.98	91.06 +/- 2.45	93.68 +/- 2.96	0.023*

Table 2: Lateral orbital distance (LOD) values by age group and sex, and comparisons between males and females (*). F = females, M = males, y = years, mo = months.

Age group	Number of CT-scans per group	Inner Interorbital / Lateral Orbital distances ratio (IOD/LOD ratio)			
		All (mean +/- SD)	F (mean +/- SD)	M (mean +/- SD)	p-Value*
3-6 mo	33 (13F, 20M)	0.25 +/- 0,01	0.26	0.25	0.610
6-12 mo	45 (19F, 26M)	0.24 +/- 0,01	0.24	0.24	0.912
12-18 mo	38 (17F, 21M)	0.24 +/- 0,01	0.24	0.24	0.881
18-24 mo	21 (11F, 10M)	0.24 +/- 0,02	0.25	0.24	0.772
2 y	39 (16F, 23M)	0.24 +/- 0,01	0.24	0.24	0.952
3 y	40 (17F, 23M)	0.24 +/- 0,01	0.24	0.24	0.944
4 y	35 (17F, 18M)	0.24 +/- 0,01	0.24	0.24	0.826
5 y	35 (17F, 18M)	0.24 +/- 0,02	0.24	0.25	0.764
6 y	37 (20F, 17M)	0.24 +/- 0,02	0.25	0.24	0.834
7 y	36 (20F, 16M)	0.24 +/- 0,01	0.25	0.24	0.582
8 y	33 (15F, 18M)	0.25 +/- 0,02	0.25	0.25	0.976
9 y	42 (18F, 24M)	0.25 +/- 0,02	0.24	0.25	0.653
10 y	32 (16F, 16M)	0.25 +/- 0,02	0.24	0.25	0.617

Table 3: Bony inner interorbital distance (IOD) to lateral orbital distance values (LOD) ratio by age group and sex and comparisons between males and females (*). F = females, M = males, y = years, mo = months.

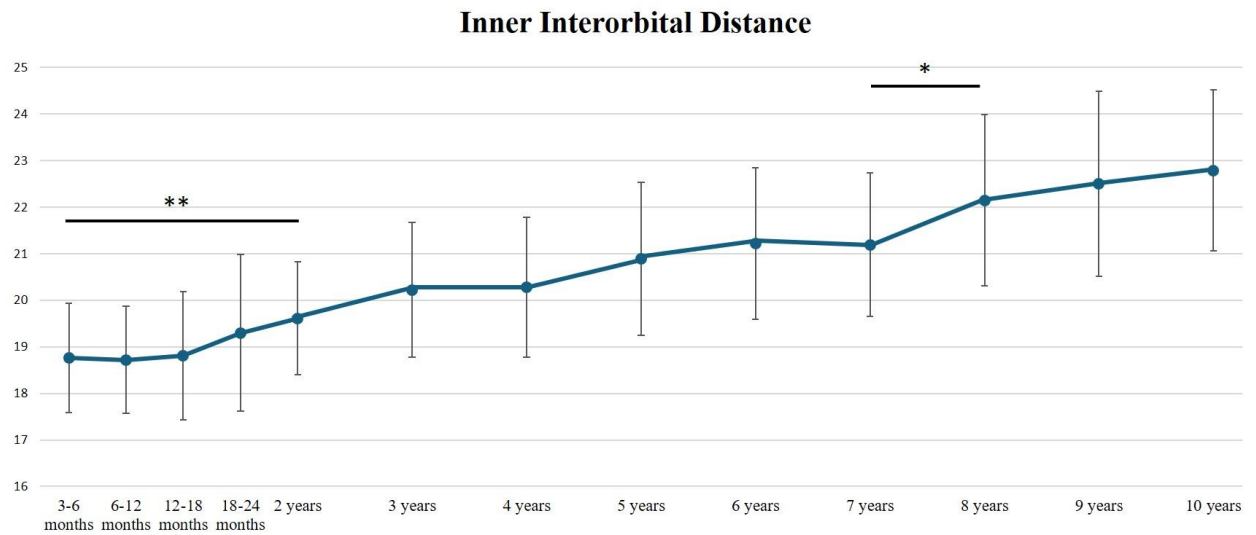


Figure 1: Inner Interorbital Distance from 3 months to 10 years of age. Mean +/- SD (mm). (* $0.01 < p < 0.05$; ** $0.001 < p < 0.01$).

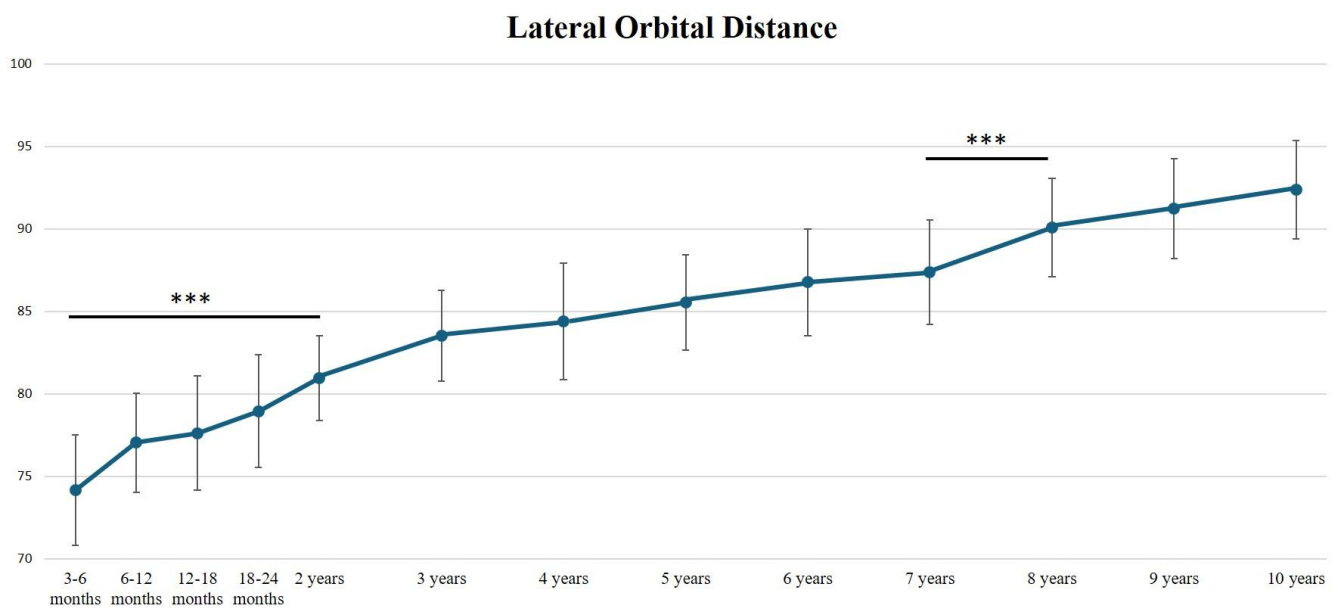


Figure 2: Lateral Orbital Distance from 3 months to 10 years of age. Mean +/- SD (mm). (***) $p < 0.0001$).

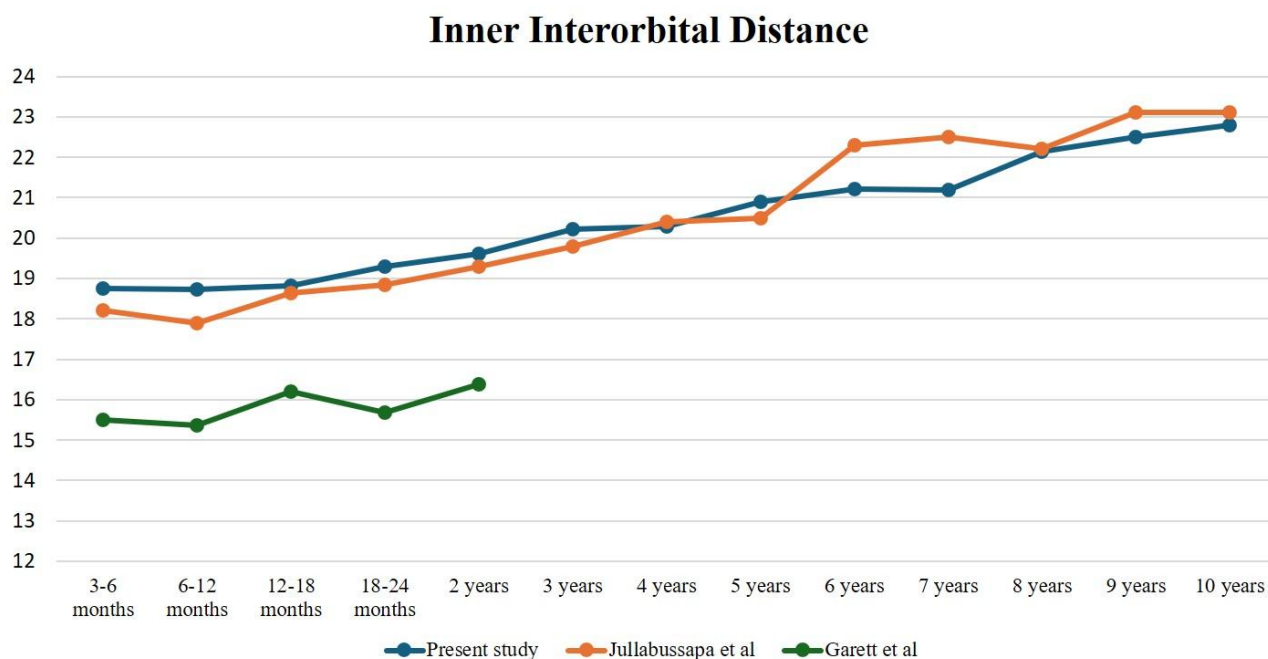


Figure 3: Comparisons of Inner Interorbital Distance values between our series and previous published series. Mean in mm.^{13,14}

DISCUSSION

Craniofacial morphology and growth have traditionally been studied using radiographic 2D measurements, and adult population has been more widely described than paediatric ones.²² CT-scan allows a 3D evaluation, it is now available in routine and provides more reliable and reproducible measurements than radiographic-based measurements.

Asian and American facial and orbital growth characteristics are well reported in literature.^{12–19} However, craniofacial morphology varies across ethnicities, and, to date, there is still a lack of data concerning normal orbital growth patterns in Caucasian populations.^{13,14} Thus, we aimed to analyse orbital bone growth based on 3D CT-scan measurements in a healthy paediatric Caucasian population in France.

We showed that inner interorbital distances increased progressively with age, from 3 months to 10 years, with an average increase of 2 % +/- 1.3 every year. The highest increase of interorbital

distance values was observed during the first 2 years of age and between 7 and 8 years of age. We observed a similar pattern of growth concerning the lateral orbital distance, with an average increase of 1.8 % +/- 1.06 between age groups. The IOD/LOD ratio remained constant with age, highlighting isometric orbital and zygomatic growth.

According to Tessier et al, mean inner interorbital distance reaches 25 mm in females and 28mm males at adult age.⁹ In our study, Inner Interorbital Distance reaches approximately 78 % and 89 % of the adult values, at the age of 2 years, and 8 years, respectively. Then, the orbital growth slows down since it reaches at the age of 10 years, almost 91% of the adult values, as reported among literature.^{12,14,25} Ye et al. reported also 2 growth spurts during orbital growth: during the first 2 years and between the age of 5 and 13 years.¹⁹

The embryological development of the orbit is linked to the development of the brain and of the anterior cranial vault, this determines the size and the shape of the orbits.^{26,27} Embryology and fetal development of the orbits begins at the time of the neurulation during week 4 of embryogenesis.²⁸ The development of the eyeballs establishes the scaffolding of the orbital bones. Convergence of the orbits during pregnancy and after birth determines the final position of the orbits. At 2 months of gestation, orbits have an initial 180° relation to each other, they reach a 71° relation to each other at birth. In the post-natal period and during growth, orbital growth and shape is also influenced by the sinus pneumatization.²⁵ Patency of cranial sutures also allows orbital development and the time of cranial sutures closure influences interorbital distance and orbital volume and shape.^{26,27} Premature fusion of coronal sutures, causing plagiocephaly and brachycephaly, leads to reduced orbital volume and is often associated with hypertelorism, whereas, in case of premature fusion of the metopic suture, leading to trigonocephaly, triangular frontal shape and reduced interorbital distance are observed.^{2,29}

When comparing our results with those reported from the study of Asian populations (Thailand), we found a similar orbital growth pattern with a rapid increase during the first 2 years of life and comparable values of interorbital distance between 3 months and 10 years of age (Figure 5).¹⁴ When comparing with the results obtained from a study conducted in American population (USA) that examined orbital measurements of healthy infants before 2 years of age, our results were slightly higher but IOD/LOD distance ratio remained similar (Figure 5).¹³ Although interorbital morphology varies across ethnicity and genetic backgrounds, measurements methods and the different reference planes used among the series may also explain these variations.

In this present study, we defined anatomical landmarks and interorbital distances at the level of neuro-ocular plane as described by Cabanis et al.^{23,24} This neuro-ocular plane is a standard for the CT or MRI study of the visual pathway, it is the permanent orientation of the brain in space and replicates the Broca's visual plan. Others studies chose the Frankfort horizontal plane, defined by the highest point on the upper margin of the opening of each external auditory canal and the lowest point on the lower margin of the left orbit.^{13,14,19} Due to these plane variations used for the measurements, we cannot draw any definitive conclusions based on the comparison with the other studies. However, despite the different planes used within the different series and ours, Inner Interorbital Distance/Lateral Orbital Distance ratio remained constant with age and comparable, and interorbital distance showed similar evolution with growth.

Finally, we found some discrepancies between males and females concerning IOD and LOD, this is also reported in other studies, but at different ages.^{14,19} These differences between the series may be due to the inclusion bias due to the CT-scan selection and the sample size. Nevertheless, some studies didn't find discrepancies between males and females.^{12,18} However, in all cases, when a significant difference was found, males had a wider lateral orbital and/or

inner interorbital distances. Noticeably, these variations between males and females persisted in adulthood.^{14,19}

The strengths of our study were the intraobserver reliability, with a low intra-observer variability and high intraclass correlation coefficients, showing a good measurement reproducibility.

Our study has some limitations that must be considered. Firstly, our samples came from a single tertiary care center and this population may differ from the general healthy population. Secondly, although the average size of our groups is comparable to those of other studies, the sample size may limit statistical power of this study. Thirdly, we couldn't use longitudinal CT-scans from the same patients during growth due to the retrospective design of the study.

CONCLUSION

Overall, our study provides additional knowledge concerning orbital growth in Caucasian paediatric population. These normative data and analysing evolution of orbital growth after the surgical correction of hypertelorism, will help in future to better define the interorbital distance to apply per-operatively for the correction of hypertelorism, according to the age at surgery.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank all the practitioners of the Department of Paediatric Radiology, Clocheville Hospital, Tours University Hospital, Tours, France.

REFERENCES

1. Judisch GF. Orbital Hypotelorism: An Isolated Autosomal Dominant Trait. *Arch Ophthalmol.* 1984;102(7):995. doi:10.1001/archophth.1984.01040030797019

2. Currarino G. Orbital Hypotelorism, Arhinencephaly, and Trigonocephaly. *Radiology*. 1960;74(2):206-217. doi:doi.org/10.1148/74.2.206
3. Davis C, Lauritzen CGK. Frontobasal Suture Distraction Corrects Hypotelorism in Metopic Synostosis. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2009;20(1):121-124. doi:10.1097/SCS.0b013e318190e25d
4. Dubourg C, Bendavid C, Pasquier L, et al. Holoprosencephaly. *Orphanet Journal of Rare Diseases*. 2007;2(1):8. doi:10.1186/1750-1172-2-8
5. Hollander N, Ten Tusscher GW. COFFIN–SIRIS syndrome: Clinical description of two cases. *Clinical Case Reports*. 2022;10(12):e6598. doi:10.1002/ccr3.6598
6. Alexiev BA, Lin X, Sun CC, et al. Meckel-Gruber Syndrome: Pathologic Manifestations, Minimal Diagnostic Criteria, and Differential Diagnosis. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*. 2006;130(8):1236-1238. doi:10.5858/2006-130-1236-MS
7. Kozel BA, Barak B, Kim CA, et al. Williams syndrome. *Nature Reviews Disease Primers*. 2022;7(1):1-22.
8. David, Greig. Hypertelorism. A hitherto undifferentiated congenital cranio-facial deformity. *Edinburgh Medical Journal*. 1924;31:560-593.
9. Tessier P. Orbital Hypertelorism: I. Successive Surgical Attempts. Material and Methods. Causes and Mechanisms. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*. 1972;6(2):135-155. doi:10.3109/02844317209036714
10. Shakir S, Hoppe IC, Taylor JA. State-of-the-Art Hypertelorism Management. *Clinics in Plastic Surgery*. 2019;46(2):185-195. doi:10.1016/j.cps.2018.11.004
11. Converse J, Ransohoff J, Mathews E, et al. Ocular hypertelorism and pseudohypertelorism. Advances in surgical treatment. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1970;45:1-13.
12. Escaravage GK, Dutton JJ. Age-related Changes in the Pediatric Human Orbit on CT. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery*. 2013;29(3):150-156. doi:10.1097/IOP.0b013e3182859716
13. Pool GM, Didier RA, Bardo D, et al. Computed tomography-generated anthropometric measurements of orbital relationships in normal infants and children. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. 2016;18(2):201-206. doi:10.3171/2016.2.PEDS15475
14. Jullabussapa N, Khwanngern K, Pateekhum C, et al. CT-Based Measurements of Facial Parameters of Healthy Children and Adolescents in Thailand. *American Journal of Neuroradiology*. 2020;41(10):1937-1942. doi:10.3174/ajnr.A6731
15. Özer CM, Öz II, Şerifoğlu I, et al. Evaluation of Eyeball and Orbit in Relation to Gender and Age. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2016;27(8):e793-e800. doi:10.1097/SCS.00000000000003133
16. Berger AJ, Kahn D. Growth and Development of the Orbit. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. 2012;24(4):545-555. doi:10.1016/j.coms.2012.08.001

17. Lee B, Flores-Mir C, Lagravère MO. Normal orbit skeletal changes in adolescents as determined through cone-beam computed tomography. *Head Face Med.* 2016;12(1):32. doi:10.1186/s13005-016-0130-0
18. Boruah DK, Dutta HK, Sarma K, et al. Normative magnetic resonance imaging measurements of orbital structures in paediatric population of North-Eastern India: A retrospective cross-sectional study. *Indian Journal of Ophthalmology.* 2021;69(8):2099-2105. doi:10.4103/ijo.IJO_546_21
19. Ye F, Ji Y, Chen Y, et al. Orbital Growth is Associated with Eyeball Size: A Study Using CT-based Three-dimensional Techniques. *Current Eye Research.* 2022;47(2):317-324. doi:10.1080/02713683.2021.1963784
20. Medra AM, Hassanein AG, Fadle KN. Controversy on the Age of Hypertelorism Correction. *Journal of Craniofacial Surgery.* 2019;30(6):1859-1865. doi:10.1097/SCS.00000000000005625
21. Marchac D, Sati S, Renier D, et al. Hypertelorism Correction: What Happens with Growth? Evaluation of a Series of 95 Surgical Cases. *Plastic and Reconstructive Surgery.* 2012;129(3):713-727. doi:10.1097/PRS.0b013e3182402db1
22. Hansman CF. Growth of Interorbital Distance and Skull Thickness as Observed in Roentgenographic Measurements. *Radiology.* 1966;86(1):87-96. doi:10.1148/86.1.87
23. Cabanis EA, Pineau H, Iba-Zizen MT, et al. CT scanning in the 'neuro-ocular plane': The optic pathways as a 'new' cephalic plane. *Neuro-Ophthalmology.* 1981;1(4):237-251. doi:10.3109/01658108109010245
24. Cabanis EA, Iba-Zizen MT, Nguyen TH, et al. Les voies de la vision, de l'IRM anatomique à la physiologie (IRM(f)) et IRM en tenseur de diffusion (IRMTD) ou tractographie. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine.* 2004;188(7):1153-1172. doi:10.1016/S0001-4079(19)33682-9
25. Berger AJ, Kahn D. Growth and Development of the Orbit. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America.* 2012;24(4):545-555. doi:10.1016/j.coms.2012.08.001
26. Catala M, Khonsari RH, Paternoster G, et al. Développement et croissance de la voûte du crâne. *Neurochirurgie.* 2019;65(5):210-215. doi:10.1016/j.neuchi.2019.09.017
27. Taverne M, Khonsari RH. Développement et croissance du front. *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique.* 2024;69(6):489-495. doi:10.1016/j.anplas.2024.06.019
28. Cho RI, Kahana A. Embryology of the Orbit. *J Neurol Surg B Skull Base.* 2021;82(01):002-006. doi:10.1055/s-0040-1722630
29. Maltese G, Tarnow P, Tovetjärn R, et al. Correction of hypotelorism in isolated metopic synostosis. *Journal of Plastic Surgery and Hand Surgery.* 2014;48(1):63-66. doi:10.3109/2000656X.2013.812967

SUPPLEMENTAL FILES

Age	Intraclass Correlation Coefficient (ICC)		
	All	Females	Males
3-6 mo	0.98	0.99	0.98
6-12 mo	0.96	0.94	0.97
12-18 mo	0.97	0.96	0.97
18-24 mo	0.98	0.98	0.98
2 y	0.96	0.97	0.95
3 y	0.97	0.96	0.97
4 y	0.95	0.94	0.96
5 y	0.97	0.96	0.96
6 y	0.97	0.98	0.96
7 y	0.98	0.99	0.95
8 y	0.98	0.97	0.98
9 y	0.99	0.99	0.98
10 y	0.98	0.98	0.98

Supplemental Table: Intraclass Correlation Coefficients for Inner Interorbital Distance measurements.

PARTIE II

Long-term longitudinal assessment of interorbital distances after surgical correction of hypertelorism.

ABSTRACT

BACKGROUND

Orbital hypertelorism, defined by an increased interorbital distance (IOD) greater than 30 mm, can be associated with various congenital and tumor-related craniofacial conditions. Surgical correction of hypertelorism, which has evolved over decades, faces challenges due to orbital growth changes post-operatively. This study aimed to assess the long-term evolution of IOD after surgical correction and identify factors that could influence post-operative outcomes.

MATERIALS and METHODS

A retrospective analysis was performed on 33 patients treated at the University Hospital Center of Tours between 2017 and 2025. Patients who met inclusion criteria (confirmed hypertelorism diagnosis, complete clinical data, and pre- and postoperative CT-scans) were included. Preoperative and postoperative IOD and lateral orbital distance (LOD) were measured, and factors influencing surgical outcomes, were sought.

RESULTS

The study included 11 patients aged 8–18 years at the time of surgery, with a mean follow-up duration of 6.4 years. Surgical correction of hypertelorism was performed using the following techniques: box osteotomies (n=6), facial bipartition (n=3) or frontofacial monobloc advancement with facial bipartition (n=2). The mean pre-operative IOD/LOD ratio was 0.33, which decreased to 0.27 immediately post-operatively and remained at 0.27 in the late postoperative phase. All patients showed a modest resurgence of IOD in the late postoperative period, with a mean residual IOD increase of 2 +/- 1.27 mm. In 3 patients, IOD remained pathological (>30 mm) during the late post-operative phase. Factors such as the surgical technique, underlying aetiology, and age at surgery contributed to the variations in postoperative outcomes.

CONCLUSION

Surgical correction of orbital hypertelorism yields stable long-term outcomes in most cases, with minimal residual growth and only a few cases of pathological relapse. These findings support the use of an age-adapted overcorrection strategy, with targets for IOD ranging from 18–22 mm, depending on the patient's age, to be confirmed by a larger cohort study.

KEYWORDS: hypertelorism, box osteotomy, facial bipartition, interorbital distance, postoperative outcomes.

INTRODUCTION

Orbital hypertelorism, characterized by increased interorbital inner and lateral orbital distances, was first described by Greig in 1924.¹ Orbital hypertelorism is defined by an interorbital distance (IOD) greater than 30 mm. According to Tessier, hypertelorism is classified as mild (Grade I) when the IOD measures between 30 and 34 mm, as moderate (Grade II) between 35 and 39 mm, and as severe (Grade III) when it exceeds 40 mm.^{2,3}

Hypertelorism can be associated with a variety of congenital and tumor-related craniofacial conditions. The most frequent include craniofrontonasal dysplasia, median and paramedian craniofacial clefts, craniosynostosis syndromes such as Crouzon, Apert, and Pfeiffer, as well as frontonasothmoidal tumors and encephaloceles.^{2,4}

The management of orbital hypertelorism has been of interest to surgeons since the mid-20th century. Paul Tessier described the first surgical corrections in the 1960s, introducing craniofacial approaches and craniofacial surgery.^{2,3,5,6} In the 1970s, Van der Meulen described the facial bipartition technique, which allows simultaneous correction of orbital anomalies as well as associated maxillary deformities.⁵ Over the years, surgical strategies have evolved with the integration of preoperative 3D planning, virtual surgical simulation, and improved fixation methods, leading to safer procedures and more predictable aesthetic outcomes.^{7,8}

Surgical correction of hypertelorism interfere with orbital growth, and age at surgery for the correction of hypertelorism is controversial.⁹ Regarding literature, orbital hypertelorism correction is classically performed from 5 – 8 years of age.^{10,11} Orbital growth is nearly complete around 8 – 10 years of age, with inner interorbital distances reaching nearly 90 % of the adult values, at the age of 8 years.^{12–14} (Pech de Laclause et al, submitted, 2025). However, the amount of overcorrection required to prevent recurrence of hypertelorism following early surgical intervention, i.e. before the age of 8 years, remains uncertain and poorly defined.

The objective of this study was first to assess late evolution of interorbital distance after surgical correction of hypertelorism. Secondly, we aimed to analyse the factors influencing postoperative outcomes and evolution of interorbital distance. Overall, our work contributes to a better understanding of interorbital growth after correction of hypertelorism, for a better personalized and aged-adapted surgical planning.

MATERIALS AND METHODS

We reviewed the clinical records of 33 patients treated in the Department of Maxillofacial and Facial Plastic Surgery at the University Hospital Center of Tours, between 2017 and 2025. We reviewed all pre- and postoperative craniofacial CT scans performed in patients who underwent surgical correction of hypertelorism in our department, using box osteotomies or facial bipartition techniques.

Participants were included in the study if they met the following inclusion criteria:

- confirmed diagnosis of orbital hypertelorism, based on clinical and CT-scan analyses;
- availability of comprehensive clinical data regarding the etiology of hypertelorism and the surgical technique used;
- availability of preoperative, early and late postoperative CT-scans with adequate resolution for orbital measurements. A minimum postoperative follow-up period of 3 years was required.

Factors potentially influencing postoperative outcomes and possible recurrence — including age at the time of surgery, etiology of hypertelorism, and any intraoperative or postoperative complications — were collected and analyzed.

The anatomical landmarks used to evaluate interorbital distance were determined as follows, according to our previous study (Pech de Laclause et al, submitted, 2025): bony inner interorbital distance (IOD), bony lateral orbital distance (LOD) and the IOD/LOD ratio. Landmark identification was performed at the neuro-ocular plane, according Cabanis *et al.*^{15,16}

A relapse was defined as a late postoperative increase in interorbital distance reaching pathological values, i.e. IOD > 30mm.

All measurements were performed by the lead author (MPL) to minimize inter-rater variability. Each measurement was obtained at least twice, and the mean value was recorded. Image processing and measurements were conducted using the Carestream PACS system (Philips Healthcare) (Figures 1, 2).

Statistical analysis

Mean +/- SD was calculated for IOD, LOD and IOD/LOD ratio.

Statistical analyses were performed using Excel® using Mann-Whitney test.

The threshold for statistical significance was set to $p < 0.05$.

This study was approved by the ethical committee of University Hospital Center of Tours (study approval n° 2024_105).

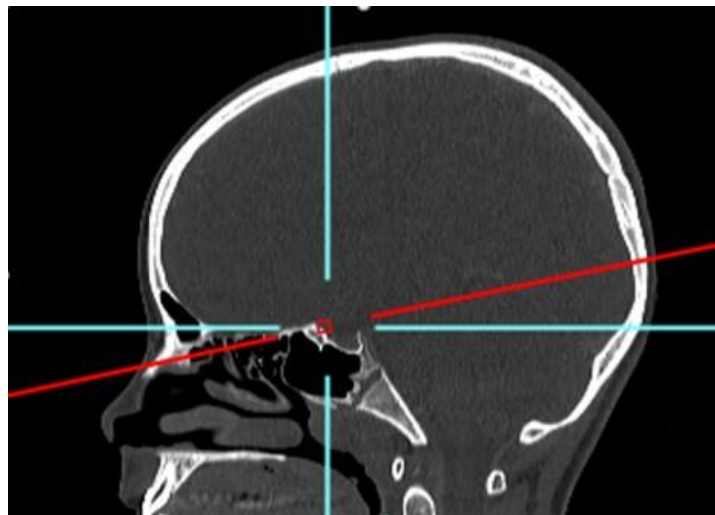


Figure 1: Craniofacial CT-scan, sagittal view. The red line represents the level of neuro-ocular plane as described by Cabanis et al.^{15,16}

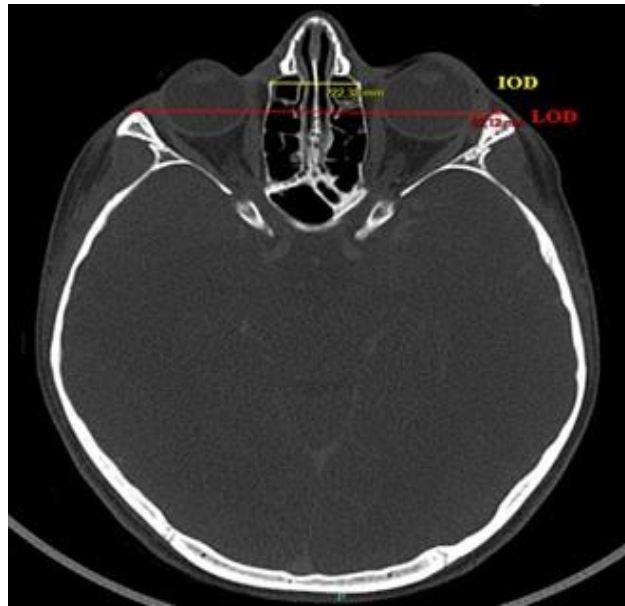


Figure 2: Craniofacial CT-scan, axial view (Cabanis plane). Bony inner interorbital (IOD) and bony lateral orbital (LOD) distances.^{15,16}

RESULTS

A total of 11 patients were included in this retrospective study, comprising 6 females and 5 males aged between 8 and 18 years old, with a mean age of 11.7 years at the time of the surgery. The mean postoperative follow-up duration was 6.4 +/- 1.7 years. The most frequent reason for patient's exclusion was an insufficient postoperative follow-up duration or absence of available late postoperative CT-scan.

Six patients were treated by box osteotomies, three by facial bipartition and two treated by facial bipartition combined with frontofacial monobloc advancement. Decision of surgical approach was guided by the presence of associated craniofacial anomalies and individual anatomical considerations based on preoperative imaging and multidisciplinary evaluation. Regarding underlying diagnoses: 3 patients had syndromic *FGFR*-related craniosynostosis, 5 patients were diagnosed with frontonasal dysplasia, 1 patient presented a Tessier 0 – 14

craniofacial cleft and 2 patients had a Tessier 1–13 craniofacial cleft. The overall characteristics of the study population are summarized in Table 1.

The mean pre-operative IOD/LOD ratio was 0.33 +/- 0.05, which decreased to 0.27 +/- 0.02 in the immediate post-operative period ($p < 10^{-4}$), and remained at 0.27 +/- 0.02 in the late post-operative phase ($p=0.12$). (Table 2).

All operated patients experienced increased IOD values in the late postoperative period, ranging from 1% to 14% of the early postoperative IOD values (mean 7%). The late postoperative average IOD increase was 2 +/- 1.27 mm when compared with immediate postoperative ones. In 3 patients (P5, P7, P10), the late postoperative IOD remained within pathological ranges, i.e. > 30mm (Figure 3, Figure 4).

Patient	Sex	Age at surgery (y)	Diagnosis	Surgical technique	Follow-up (y)
P1	Male	8	Frontonasal dysplasia	Box Osteotomies	6
P2	Female	8	Tessier 1–13 craniofacial cleft	Facial Bipartition	4
P3	Male	9	Frontonasal dysplasia	Box Osteotomies	6
P4	Female	9	Tessier 1–13 craniofacial cleft	Box Osteotomies	6
P5	Male	11	Tessier 0–14 craniofacial cleft	Facial Bipartition	8
P6	Female	12	Frontonasal dysplasia	Facial Bipartition	6
P7	Female	12	Frontonasal dysplasia with cleft lip and palate	Box Osteotomies	5
P8	Male	12	Pfeiffer Syndrome	Monobloc + Facial Bipartition	5
P9	Female	14	Pfeiffer Syndrome	Monobloc + Facial	6

				Bipartition	
P10	Male	16	Apert Syndrome	Box osteotomies	10
P11	Female	18	Frontonasal dysplasia	Box Osteotomies	8

Table 4: Studied Population characteristics. Y= years.

	Pre-operative period			Early post-operative period			Late post-operative period		
Patient	IOD	LOD	IOD/LOD Ratio	IOD	LOD	IOD/LOD Ratio	IOD	LOD	IOD/LOD Ratio
P1	28.13	93.41	0.30	23.25	88.38	0.26	26.31	94.7	0.28
P2	35.35	94.35	0.37	18.64	75.83	0.24	21.49	84.52	0.25
P3	32.5	93.96	0.35	25.35	88.63	0.29	26.4	93.3	0.28
P4	41.25	100	0.41	23.37	85.91	0.27	25.58	92.23	0.28
P5	38.91	101.5	0.38	27.77	91.76	0.30	32.32	102	0.32
P6	32.52	97.52	0.33	23.66	87.63	0.27	26.03	95.25	0.27
P7	37.94	108	0.35	28	99.38	0.28	30.03	102.5	0.29
P8	25.6	102.65	0.25	22.47	99.23	0.23	24.47	104.5	0.23
P9	26.82	102.5	0.26	23.21	95.68	0.24	23.95	96.28	0.25
P10	37.28	120	0.31	30.28	117	0.26	30.6	119	0.26
P11	33,11	98,45	0,34	25,38	92,75	0,27	25,89	93,32	0,28

Table 5: Orbital Distances Evolution in mm.

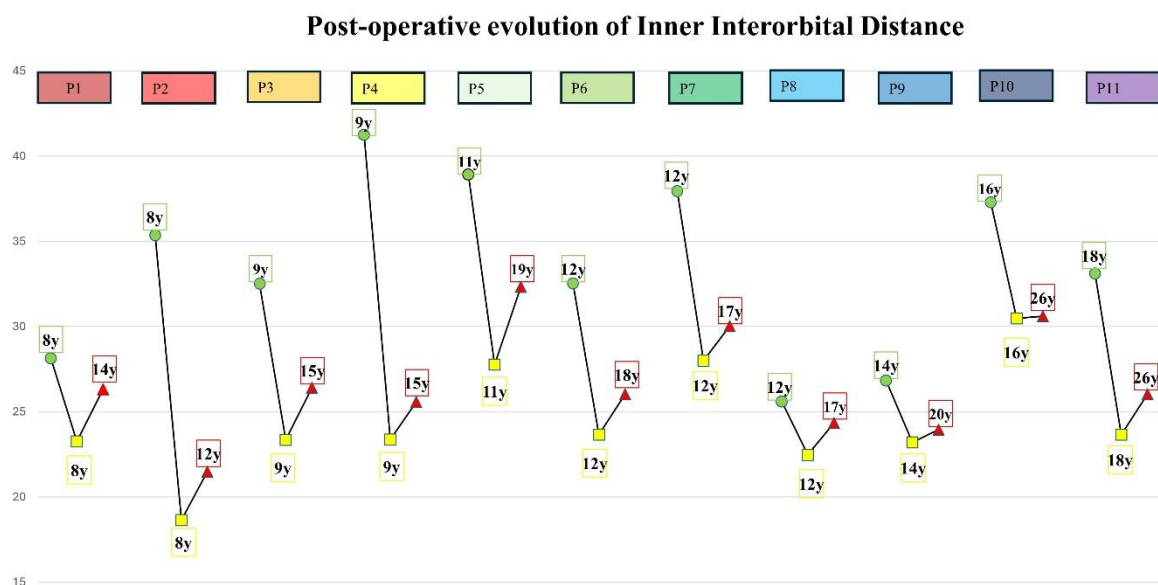


Figure 3: Evolution of the Inner Interorbital Distance. Y = Years. ● = preoperative. ■ = early post-operative. ▲ = late post-operative.

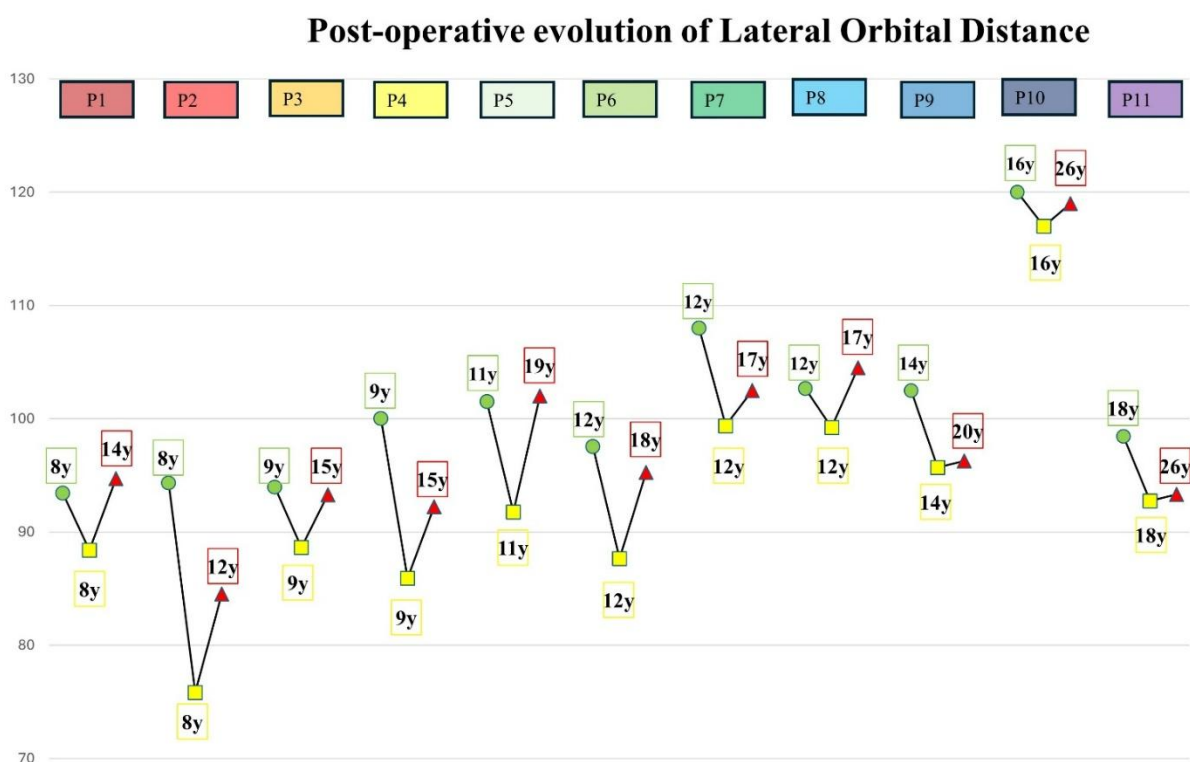


Figure 4: Evolution of the Inner Interorbital Distance. Y = Years. ● = preoperative. ■ = early post-operative. ▲ = late post-operative.

Figure 5: Patient 11 : Frontonasal dysplasia. Pre- (left, age 18 years) and post-operative (right, age 24 years) facial photographs and 3D CT-scans.

Figure 6: Patient 4: Tessier 1–13 craniofacial cleft. Pre- (left, age 9 years) and post-operative (right, age 15 years) facial photographs and 3D CT-scans.

Figure 7: Patient 1: Frontonasal dysplasia. Pre- (left, age 8 years) and post-operative (middle, age 8 years and right, age 14 years) facial photographs and 3D CT-scans.

DISCUSSION

This study offers a detailed individual-level analysis of the late evolution of interorbital distances after surgical correction of hypertelorism in a cohort of 11 patients with diverse craniofacial conditions, over a mean follow-up period of 6.4 ± 1.7 years. Given the heterogeneity of the sample — including variability in age, etiology and surgical techniques — we chose to focus on IOD/LOD ratios and individual trajectories rather than aggregated means, to better capture proportional changes and growth-related variability.

In 2 patients with syndromic craniosynostosis who required a frontofacial monobloc advancement procedure, a surgical reduction of IOD by facial bipartition was performed simultaneously although hypertelorism was mild (IOD between 25 and 27 mm). This was justified by the necessity for transverse maxillary expansion.⁷ This reflects a reconstructive pragmatism, where orbital correction accompanies broader craniofacial goals.

All patients showed a marked decrease in the IOD/LOD ratio immediately postoperatively, reflecting effective orbital medialization. Preoperative IOD/LOD ratios often exceeded 0.32 pre-operatively and typically normalized to around 0.27 after surgery. These postoperative ratios closely approximate the physiological range observed in normal age-matched populations, suggesting that the surgical correction restored near-physiological orbital proportions.^{13,14} (Pech de Laclause et al, submitted, 2025)

Although a modest increase in IOD was observed during the late postoperative period, the

surgical outcomes remained stable in most patients throughout late childhood and into adolescence.

Pathological relapse—i.e., resurgence of excessive values of IOD—was only observed in 3 of 11 patients.² Interestingly, all three cases had grade II hypertelorism—i.e., IOD > 35mm—, linked to different underlying aetiologies (syndromic craniosynostosis or facial clefts). Several factors may account for these recurrences. First, the method of osteosynthesis and the stability of fixation may have played a role in postoperative orbital drift. This was the case of one patient of our series (P10), with Apert syndrome which had box osteotomies 5 years after a frontofacial monobloc advancement, that was complicated by fronto-orbital bone osteolysis. This could have increased peroperative difficulties for orbit medialisation and osteotomies stabilization, leading to suboptimal correction. Secondly, the management of excess soft tissues and/or redundant bony structures, frequently encountered in midline duplication facial clefts or frontonasal dysplasia, is not always straightforward. Incomplete resection or remodelling in these cases may limit the extent of achievable correction and contribute to postoperative residual hypertelorism. Thirdly, incomplete intraoperative correction due to technical limitations or peroperative underestimation of IOD reduction to apply may also explain the relapse observed in these patients. Surgical correction of hypertelorism involves complex procedures, with a relatively long learning curve. Thus, results may be suboptimal in early cases. Over time, the surgical team progressively refined its preoperative planning strategies, notably by implementing patient-specific surgical planning, including the use of cutting guides and custom-made plates. This transition toward personalized surgery likely contributed to improved accuracy of osteotomies, better repositioning control, and ultimately more stable and reproducible outcomes.

Our results align with a critical appraisal of surgical outcomes following orbital hypertelorism correction, which distinguishes between true bony relapse and soft tissue telecanthus.¹⁸ The review underscores that true bony relapse is uncommon but clinically significant, whereas soft tissue changes can simulate recurrence. Our study confirms this distinction, as most of patients maintained stable bony corrections over time, with only a minority showing pathological relapse. Preservation of the medial canthal tendon insertions is critical during osteotomies and mobilization, as their disinsertion significantly increases the risk of telecanthus and canthal malposition in the postoperative period. Residual postoperative telecanthus may occur following correction of hypertelorism, necessitating a secondary procedure in the form of medial canthopexy to achieve satisfactory medial canthal positioning.¹⁹ To note, medial canthopexy can also be performed at the time of hypertelorism correction, this was the case of four patients of our series presenting medial canthal tendon disinsertion.

Regarding our results, these study supports an age-adapted overcorrection strategy: targeting an immediate postoperative IOD of 18–20 mm in patients younger than 8 years and approximately 20–22 mm in older children appears prudent. This overcorrection should anticipate relapse and promote sustained normalization of orbital proportions during growth. This recommendation is supported by normative data showing a significant increase in IOD from 21.19 ± 1.54 mm at 7 years to 22.15 ± 1.84 mm at 8 years, reflecting important transverse orbital growth during this period. By 8 years, healthy children reach over 90% of adult IOD values, underscoring the need for age-specific surgical targets to accommodate ongoing craniofacial development.^{12,14,17} (Pech de Laclause et al, submitted, 2025)

Medra *et al* highlighted the controversy surrounding the optimal timing for hypertelorism correction.⁹ They recommended delaying surgery after 6 years of age when possible, to reduce relapse risk, unless functional or anatomical indications mandate earlier intervention. In our initial practice, surgical correction of hypertelorism was preferentially performed from the age

of 8 years onward. However, more recently, we have extended our indications to include select complex cases as early as 5–6 years of age, particularly when functional or syndromic factors necessitate earlier intervention. These younger patients were not included in the present analysis due to insufficient follow-up duration for meaningful postoperative assessment.

Finally, our detailed longitudinal data analyses offer further insights that complement earlier, broader analyses such as those by Marchac *and coll.*, highlighting the value of targeted overcorrection strategies adapted to age and growth potential to correct hypertelorism.¹⁰

The main limitation of our retrospective study was the relatively small sample size, constrained by strict inclusion criteria requiring long-term follow-up, and high-quality imaging. Extending the cohort and lengthening follow-up periods will increase statistical power and enable more detailed subgroup analyses by diagnosis and surgical technique, for a better estimation of the amount of interorbital distance overcorrection to apply peroperatively, according to age.

CONCLUSION

This study highlights the long-term evolution of interorbital distance after hypertelorism surgery. Close long-term follow-up and individualized surgical planning are essential for achieving stable, lasting outcomes, particularly in complex cases involving associated craniofacial anomalies. Our findings suggest a targeted overcorrection approach, with age-specific goals. Further studies with larger cohorts and extended follow-up will help refine surgical guidelines and enhance patient-specific treatment strategies.

REFERENCES

1. David, Greig. Hypertelorism. A hitherto undifferentiated congenital cranio-facial deformity. *Edinburgh Medical Journal*. 1924;31:560-593.
2. Tessier P. Orbital Hypertelorism: I. Successive Surgical Attempts. Material and Methods. Causes and Mechanisms. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*. 1972;6(2):135-155. doi:10.3109/02844317209036714
3. Tessier P. Experiences in the treatment of orbital hypertelorism. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1974;53(1):1-18.
4. Shakir S, Hoppe IC, Taylor JA. State-of-the-Art Hypertelorism Management. *Clinics in Plastic Surgery*. 2019;46(2):185-195. doi:10.1016/j.cps.2018.11.004
5. Batut C, Joly A, Travers N, et al. Surgical treatment of orbital hypertelorism: Historical evolution and development prospects. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2019;47(11):1712-1719. doi:10.1016/j.jcms.2019.07.002
6. Tessier P, Guiot G, Derome P. Orbital Hypertelorism: II. Definite Treatment of Orbital Hypertelorism (OR.H.) by Craniofacial or by Extracranial Osteotomies. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*. 1973;7(1):39-58. doi:10.3109/02844317309072417
7. Laure B, Batut C, Benouhagrem A, et al. Addressing hypertelorism: Indications and techniques. *Neurochirurgie*. 2019;65(5):286-294. doi:10.1016/j.neuchi.2019.09.007
8. Arnaud É. L'innovation en chirurgie craniofaciale : depuis Tessier jusqu'aux perspectives futures. D'après les témoignages de F. Ortiz-Monasterio, D. Marchac, F. Firmin et T. Wolfe. *Annales de Chirurgie Plastique Esthétique*. 2010;55(5):363-383. doi:10.1016/j.anplas.2010.07.016
9. Medra AM, Hassanein AG, Fadle KN. Controversy on the Age of Hypertelorism Correction. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2019;30(6):1859-1865. doi:10.1097/SCS.0000000000005625
10. Marchac D, Sati S, Renier D, et al. Hypertelorism Correction: What Happens with Growth? Evaluation of a Series of 95 Surgical Cases. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2012;129(3):713-727. doi:10.1097/PRS.0b013e3182402db1
11. Wan DC, Levi B, Kawamoto H, et al. Correction of Hypertelorbitism: Evaluation of Relapse on Long-Term Follow-Up. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2012;23(1):113-117. doi:10.1097/SCS.0b013e318240fa84
12. Berger AJ, Kahn D. Growth and Development of the Orbit. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. 2012;24(4):545-555. doi:10.1016/j.coms.2012.08.001
13. Pool GM, Didier RA, Bardo D, et al. Computed tomography-generated anthropometric measurements of orbital relationships in normal infants and children. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. 2016;18(2):201-206. doi:10.3171/2016.2.PEDS15475

14. Jullabussapa N, Khwanngern K, Pateekhum C, et al. CT-Based Measurements of Facial Parameters of Healthy Children and Adolescents in Thailand. *American Journal of Neuroradiology*. 2020;41(10):1937-1942. doi:10.3174/ajnr.A6731
15. Cabanis EA, Pineau H, Iba-Zizen MT, et al. CT scanning in the 'neuro-ocular plane': The optic pathways as a 'new' cephalic plane. *Neuro-Ophthalmology*. 1981;1(4):237-251. doi:10.3109/01658108109010245
16. Cabanis EA, Iba-Zizen MT, Nguyen TH, et al. Les voies de la vision, de l'IRM anatomique à la physiologie (IRM(f)) et IRM en tenseur de diffusion (IRMTD) ou tractographie. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*. 2004;188(7):1153-1172. doi:10.1016/S0001-4079(19)33682-9
17. Escaravage GK, Dutton JJ. Age-related Changes in the Pediatric Human Orbit on CT. *Ophthalmic Plastic & Reconstructive Surgery*. 2013;29(3):150-156. doi:10.1097/IOP.0b013e3182859716
18. Go BC, Shakir S, Swanson JW, et al. A critical appraisal of surgical outcomes following orbital hypertelorism correction: what is the incidence of true bony relapse versus soft tissue telecanthus? *Childs Nerv Syst*. 2021;37(1):21-32. doi:10.1007/s00381-020-04890-2
19. Laure B, Petraud A. La canthopexie transnasale. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* . 2010;111(1):36-42. doi:10.1016/j.stomax.2009.04.003

CONCLUSION

Ce travail en deux volets a permis, d'une part, de mieux définir les normes de croissance de la distance interorbitaire chez l'enfant caucasien en bonne santé, et d'autre part, d'analyser l'évolution à long terme de cette distance après correction chirurgicale de l'hypertélorisme. L'étude des données physiologiques de croissance orbitaire offre un référentiel précieux pour adapter les objectifs chirurgicaux en fonction de l'âge. L'analyse rétrospective postopératoire souligne la stabilité globale des résultats, tout en identifiant des facteurs de récurrence potentiels, notamment dans les formes complexes. Ces données soutiennent une stratégie de surcorrection adaptée à l'âge et à l'étiologie, permettant une planification chirurgicale personnalisée.

SIGNATURES

Vu le 02/09/2025

le Directeur de Thèse

Dr MORICE Anne

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Anne Morice', written in a cursive style.

**Vu, le Doyen
De la Faculté de Médecine de
Tours Tours, le**

RESUME

L'hypertélorisme orbitaire, défini par une augmentation pathologique de la distance interorbitaire, peut être isolé ou associé à de multiples syndromes malformatifs. La prise en charge chirurgicale de l'hypertélorisme, souvent réalisée avant la fin de la croissance faciale en cas de retentissement morphologique important, soulève la question de l'interférence avec le développement orbitaire normal et du risque de récurrence à long terme.

L'objectif principal de cette thèse est double : d'une part, il s'agit de définir des valeurs de référence de la croissance orbitaire osseuse chez l'enfant caucasien sain ; et d'autre part, d'évaluer l'évolution post-opératoire de la distance interorbitaire chez des patients opérés d'hypertélorisme orbitaire.

Pour répondre au premier objectif, une étude morphométrique rétrospective a été menée à partir de 466 scanners crânio-faciaux réalisés chez des enfants caucasiens âgés de 3 mois à 10 ans. Les distances interorbitaires internes (IOD) et latérales (LOD), ainsi que leur ratio (IOD/LOD), ont été mesurées en suivant des repères anatomiques standardisés. Les résultats montrent une croissance progressive et isométrique des orbites, avec une accélération marquée durant les deux premières années de vie et entre 7 et 8 ans, passant d'une IOD moyenne de 18,76 mm à 3 mois à 22,79 mm à 10 ans.

Pour répondre au deuxième objectif, une étude rétrospective, chez des patients opérés d'une chirurgie d'hypertélorisme au sein de notre service, a été menée sur la période 2017 – 2025. Les critères d'inclusion étaient les suivants : données cliniques et scanographiques disponibles, avec suivi d'au moins 3 ans post-opératoires. Deux patients ont bénéficié d'une chirurgie monobloc d'avancée frontofaciale associée à une bipartition faciale, trois par une bipartition faciale et six par des box ostéotomies. Les distances interorbitaires ont été mesurées sur les scanners préopératoires, en période postopératoire immédiate et à distance. Nous avons observé dans notre série, une augmentation de la distance interorbitaire en période post-opératoire, suggérant une croissance résiduelle des orbites, sans récurrence de l'hypertélorisme chez 8 des 11 patients. Trois patients présentaient une insuffisance de correction de l'hypertélorisme à long terme, en lien avec une réduction per-opératoire de la distance interorbitaire incomplète.

Ces résultats contribuent à une meilleure connaissance de l'évolution de la distance interorbitaire au cours de la croissance physiologique, et après chirurgie d'hypertélorisme. Au total, la poursuite de ce travail avec l'augmentation du nombre de patients opérés d'hypertélorisme inclus dans notre étude, nous aidera à mieux adapter les stratégies chirurgicales en fonction de l'âge et de l'étiologie de l'hypertélorisme.

PECH de LACLAUSE Mathilde

59 pages – 6 tableaux – 12 figures – 5 graphiques – 7 illustrations

Résumé :

L'hypertélorisme orbitaire, défini par une augmentation pathologique de la distance interorbitaire, peut être isolé ou associé à de multiples syndromes malformatifs. La prise en charge chirurgicale de l'hypertélorisme, souvent réalisée avant la fin de la croissance faciale en cas de retentissement morphologique important, soulève la question de l'interférence avec le développement orbitaire normal et du risque de récurrence à long terme. L'objectif principal de cette thèse est double : d'une part, il s'agit de définir des valeurs de référence de la croissance orbitaire osseuse chez l'enfant caucasien sain ; et d'autre part, d'évaluer l'évolution post-opératoire de la distance interorbitaire chez des patients opérés d'hypertélorisme orbitaire.

Pour répondre au premier objectif, une étude morphométrique rétrospective a été menée à partir de 466 scanners crânio-faciaux réalisés chez des enfants caucasiens âgés de 3 mois à 10 ans. Les distances interorbitaires internes (IOD) et latérales (LOD), ainsi que leur ratio (IOD/LOD), ont été mesurées en suivant des repères anatomiques standardisés. Les résultats montrent une croissance progressive et isométrique des orbites, avec une accélération marquée durant les deux premières années de vie et entre 7 et 8 ans, passant d'une IOD moyenne de 18,76 mm à 3 mois à 22,79 mm à 10 ans. Pour répondre au deuxième objectif, une étude rétrospective, chez des patients opérés d'une chirurgie d'hypertélorisme au sein de notre service, a été menée sur la période 2017 – 2025. Les critères d'inclusion étaient les suivants : données cliniques et scanographiques disponibles, avec suivi d'au moins 3 ans post-opératoires. Deux patients ont bénéficié d'une chirurgie monobloc d'avancée frontofaciale associée à une bipartition faciale, trois par une bipartition faciale et six par des box ostéotomies. Les distances interorbitaires ont été mesurées sur les scanners préopératoires, en période postopératoire immédiate et à distance. Nous avons observé dans notre série, une augmentation de la distance interorbitaire en période post-opératoire, suggérant une croissance résiduelle des orbites, sans récurrence de l'hypertélorisme chez 8 des 11 patients. Trois patients présentaient une insuffisance de correction de l'hypertélorisme à long terme, en lien avec une réduction post-opératoire de la distance interorbitaire incomplète.

Ces résultats contribuent à une meilleure connaissance de l'évolution de la distance interorbitaire au cours de la croissance physiologique, et après chirurgie d'hypertélorisme. Au total, la poursuite de ce travail avec l'augmentation du nombre de patients opérés d'hypertélorisme inclus dans notre étude, nous aidera à mieux adapter les stratégies chirurgicales en fonction de l'âge et de l'étiologie de l'hypertélorisme.

Mots clés : distance interorbitaire, scanners, croissance orbitaire, population pédiatrique saine, hypertélorisme orbitaire, correction chirurgicale, résultats post-opératoires.

Jury :

Président du Jury :	Professeur Boris LAURE
<u>Directeur de thèse :</u>	<u>Docteur Anne MORICE</u>
Membres du Jury :	Professeur Arnaud PARE
	Professeur Baptiste MOREL
	Docteur Eric ARNAUD
	Docteur Nadine TRAVERS

Date de soutenance : 26 septembre 2025