

Année 2018/2019

N°

Thèse

Pour le

DOCTORAT EN MEDECINE

Diplôme d'État

par

Julie LAYLY

Né(e) le 11/07/1990 à Aubergenville (78)

Titre :

**Peut-on réduire à 15 images par seconde la cadence des radiocinémas
de déglutition en pédiatrie ?**

Présentée et soutenue publiquement le 17 octobre 2019 date devant un jury composé de :

Président du Jury :

Professeur Jean-Philippe COTTIER, Radiologie et imagerie médicale, Faculté de Médecine – Tours

Membres du Jury :

Professeur Laurent BRUNEREAU, Radiologie et Imagerie Médicale, Faculté de Médecine – Tours

Professeur Sylvain MORINIERE, ORL, Faculté de Médecine, - Tours

Docteur Franck MARMOUSET, ORL, PH, CHU – Tours

**Directeur de thèse : Docteur Baptiste MOREL, Radiologie et imagerie médicale, MCU-PH, Faculté
de Médecine – Tours**

Résumé

Introduction

Les radiocinémas de déglutition (RCD) sont des examens d'imagerie couramment pratiqués pour explorer les troubles de déglutition, mais qui requièrent des rayonnements ionisants. Le but de notre étude était d'évaluer la comparabilité des RCD en pédiatrie à 15 images par secondes (ips) et 30 ips.

Matériel et Méthodes

Cinquante-cinq boucles de RCD à 30 ips, comportant 190 déglutitions, réalisés chez 32 enfants consécutifs dans un centre hospitalier universitaire ont été rétrospectivement modifiées par un logiciel, retirant une image sur deux, pour obtenir de nouvelles boucles à une cadence de 15 ips. Un otorhinolaryngologiste-phoniatre, un radiologue junior et un radiologue sénior ont réinterprétés les déglutitions, en double aveugle et randomisées, utilisant l'échelle pénétration - aspiration (PAS). En cas de discordance, une interprétation consensuelle a été réalisée.

Résultats

Quinze filles et dix-sept garçons ont été inclus. L'âge médian était de 4 ans 8 mois (intervalle 4 mois – 16 ans). 144 déglutitions étaient normales. Des troubles de déglutitions ont été confirmés sur 46 déglutitions (23 pénétrations sus-glottiques et 23 aspirations). Considérant chaque déglutition à 15 ips, la sensibilité et la spécificité étaient respectivement de 93% (CI=0.82-0.98) et 98% (CI=0.94-0.99). Le coefficient de Kappa entre chaque interprétation à 15 et à 30 ips était « presque parfait » ($\kappa=0.95$; CI=0.88-0.99). Considérant chaque boucle, les conclusions étaient identiques.

Conclusion

Réduire la cadence à 15 ips pour les RCD en pédiatrie semble acceptable avec des performances diagnostiques comparables sans conséquences cliniques comparativement aux 30ips, tout en étant un moyen efficace pour réduire l'exposition aux rayonnements ionisants chez les enfants. Nous suggérons de reconsidérer la possibilité d'utiliser des RCD à 15ips dans la population pédiatrique.

Mots clés :

déglutition - troubles de déglutition – dysphagie - radiocinéma de déglutition - enfant - radiologie pédiatrique - rayonnement ionisant - ALARA

Abstract

Introduction

Videofluoroscopic Swallow studies (VFSS) are useful radiological examinations to explore swallowing disorders but which require ionizing radiation. The aim of our study was to evaluate the comparability of pediatric VFSS at 15 frames per second (fps) with 30 fps.

Material and Methods

Fifty-five loops including 190 swallowings of VFSS at 30 fps performed on 32 consecutive pediatric patients in a University Hospital Center were retrospectively modified by a software to delete one image out of two to obtain secondary loops with a frame rate of 15 fps. An otorhinolaryngologist-phonatrician, a junior radiologist and a senior radiologist reviewed all swallowings blindly and randomly using the penetration and aspiration scale (PAS). In case of discordance, they concluded a consensual interpretation.

Results

Fifteen girls and seventeen boys were included. The median age was 4 years and 8 months (range = 4 months - 16 yr.). 144 swallowings were normal. Swallowing disorder was confirmed in 46 swallowings, (23 supraglottic penetrations and 23 aspirations). Considering each swallowing at 15 fps, sensitivity and specificity were respectively, 93% (CI=0.82-0.98) and 98% (CI=0.94-0.99). The Cohen'Kappa coefficient between each interpretation at 15 and 30 fps was "almost perfect" ($\kappa=0.95$; CI=0.88-0.99). Considering each loop, conclusion was identical.

Conclusion

Reducing frame rate at 15 fps during pediatric VFSS seemed to be acceptable with comparable diagnostic performances without clinical impact compared to 30 fps, while being an efficient way to reduce the ionizing radiation exposition in children. We would suggest reconsidering the possibility of using VFSS with a 15 fps in a pediatric population.

Keywords

Deglutition; deglutition disorders; dysphagia; Video Fluoroscopic Swallow Study; children; pediatric radiology; ionizing radiation; ALARA

01/09/2019

UNIVERSITE DE TOURS
FACULTE DE MEDECINE DE TOURS

DOYEN
Pr Patrice DIOT

VICE-DOYEN
Pr Henri MARRET

ASSESSEURS
Pr Denis ANGOULVANT, Pédagogie
Pr Mathias BUCHLER, Relations internationales
Pr Theodora BEJAN-ANGOULVANT, Moyens – relations avec l'Université
Pr Clarisse DIBAO-DINA, Médecine générale
Pr François MAILLOT, Formation Médicale Continue
Pr Patrick VOURC'H, Recherche

RESPONSABLE ADMINISTRATIVE
Mme Fanny BOBLETER

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

PROFESSEURS EMERITES

Pr Daniel ALISON
Pr Philippe ARBEILLE
Pr Catherine BARTHELEMY
Pr Gilles BODY
Pr Jacques CHANDENIER
Pr Alain CHANTEPIE
Pr Pierre COSNAY
Pr Etienne DANQUECHIN-DORVAL
Pr. Dominique GOGA
Pr Alain GOUDEAU
Pr Anne-Marie LEHR-DRYLEWICZ
Pr Gérard LORETTE
Pr Roland QUENTIN
Pr Elie SALIBA

PROFESSEURS HONORAIRES

P. ANTHONIOZ – A. AUDURIER – A. AUTRET – P. BAGROS – P.BARDOS – J.L. BAULIEU – C.BERGER – JC. BESNARD – P. BEUTTER – C. BONNARD – P. BONNET – P. BOUGNOUX – P.BURDIN – L. CASTELLANI – B. CHARBONNIER – P.CHOUTET – T. CONSTANS – C. COUET– L. DE LA LANDE DE CALAN – J.P. FAUCHIER – F. FETISSOF – J. FUSCIARDI –
P. GAILLARD – G. GINIES – A. GOUAZE – J.L. GUILMOT – N. HUTEN – M. JAN – J.P. LAMAGNERE – F. LAMISSE – Y. LANSON – O. LE FLOCH – Y. LEBRANCHU – E. LECA – P. LECOMTE – E. LEMARIE – G. LEROY – M. MARCHAND – C.MAURAGE – C. MERCIER – J. MOLINE – C. MORAINÉ – J.P. MUH – J. MURAT – H. NIVET – L. POURCELOT – P.RAYNAUD – D. RICHARD-LENOBLE – A. ROBIER – J.C. ROLLAND – D. ROYERE - A. SAINDELLE – J.J. SANTINI – D.SAUVAGE – D. SIRINELLI – B. TOUMIEUX – J. WEILL

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

ANDRES Christian	Biochimie et biologie moléculaire
ANGOULVANT Denis	Cardiologie
AUPART Michel	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BABUTY Dominique	Cardiologie
BAKHOS David	Oto-rhino-laryngologie
BALLON Nicolas	Psychiatrie ; addictologie
BARILLOT Isabelle	Cancérologie ; radiothérapie
BARON Christophe	Immunologie
BEJAN-ANGOULVANT Théodora	Pharmacologie clinique
BERNARD Anne	Cardiologie
BERNARD Louis	Maladies infectieuses et maladies tropicales
BLANCHARD-LAUMONNIER Emmanuelle	Biologie cellulaire
BLASCO Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
BONNET-BRILHAULT Frédérique	Physiologie
BRILHAULT Jean	Chirurgie orthopédique et traumatologique
BRUNEREAU Laurent	Radiologie et imagerie médicale
BRUYERE Franck	Urologie
BUCHLER Matthias	Néphrologie
CALAIS Gilles	Cancérologie, radiothérapie
CAMUS Vincent	Psychiatrie d'adultes
COLOMBAT Philippe	Hématologie, transfusion
CORCIA Philippe	Neurologie
COTTIER Jean-Philippe	Radiologie et imagerie médicale
DE TOFFOL Bertrand	Neurologie
DEQUIN Pierre-François.....	Thérapeutique
DESOUBEAUX Guillaume.....	Parasitologie et mycologie
DESTRIEUX Christophe	Anatomie
DIOT Patrice	Pneumologie
DU BOUEXIC de PINIEUX Gonzague	Anatomie & cytologie pathologiques
DUCLUZEAU Pierre-Henri	Endocrinologie, diabétologie, et nutrition
DUMONT Pascal	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
EL HAGE Wissam	Psychiatrie adultes
EHRMANN Stephan	Réanimation
FAUCHIER Laurent	Cardiologie
FAVARD Luc	Chirurgie orthopédique et traumatologique
FOUGERE Bertrand	Gériatrie
FOUQUET Bernard	Médecine physique et de réadaptation
FRANCOIS Patrick	Neurochirurgie
FROMONT-HANKARD Gaëlle	Anatomie & cytologie pathologiques
GAUDY-GRAFFIN Catherine	Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
GOUPILLE Philippe	Rhumatologie
GRUEL Yves	Hématologie, transfusion
GUERIF Fabrice	Biologie et médecine du développement et de la reproduction
GUYETANT Serge	Anatomie et cytologie pathologiques

GYAN Emmanuel	Hématologie, transfusion
HAILLOT Olivier	Urologie
HALIMI Jean-Michel	Thérapeutique
HANKARD Régis.....	Pédiatrie
HERAULT Olivier	Hématologie, transfusion
HERBRETEAU Denis	Radiologie et imagerie médicale
HOURIOUX Christophe	Biologie cellulaire
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
LECOMTE Thierry	Gastroentérologie, hépatologie
LESCANNE Emmanuel	Oto-rhino-laryngologie
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
MORINIERE Sylvain	Oto-rhino-laryngologie
MOUSSATA Driffa	Gastro-entérologie
MULLEMAN Denis	Rhumatologie
ODENT Thierry	Chirurgie infantile
OUAISSI Mehdi	Chirurgie digestive
OULDAMER Lobna	Gynécologie-obstétrique
PAINTAUD Gilles	Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
PATAT Frédéric	Biophysique et médecine nucléaire
PERROTIN Dominique	Réanimation médicale, médecine d'urgence
PERROTIN Franck	Gynécologie-obstétrique
PISELLA Pierre-Jean	Ophtalmologie
PLANTIER Laurent	Physiologie
REMERAND Francis	Anesthésiologie et réanimation, médecine d'urgence
ROINGEARD Philippe	Biologie cellulaire
ROSSET Philippe	Chirurgie orthopédique et traumatologique
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
THOMAS-CASTELNAU Pierre	Pédiatrie
TOUTAIN Annick	Génétique
VAILLANT Loïc	Dermato-vénéréologie

VELUT Stéphane Anatomie
 VOUREC'H Patrick Biochimie et biologie moléculaire
 WATIER Hervé Immunologie

PROFESSEUR DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

DIBAO-DINA Clarisse
 LEBEAU Jean-Pierre

PROFESSEURS ASSOCIES

MALLET Donatien Soins palliatifs
 POTIER Alain Médecine Générale
 ROBERT Jean Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

BARBIER Louise..... Chirurgie digestive
 BERHOUE Julien Chirurgie orthopédique et traumatologique
 BRUNAUT Paul Psychiatrie d'adultes, addictologie
 CAILLE Agnès Biostat., informatique médical et technologies de communication
 CLEMENTY Nicolas Cardiologie
 DENIS Frédéric Odontologie
 DOMELIER Anne-Sophie Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
 DUFOUR Diane Biophysique et médecine nucléaire
 ELKRIEF Laure Hépatologie – gastroentérologie
 FAVRAIS Géraldine Pédiatrie
 FOUQUET-BERGEMER Anne-Marie Anatomie et cytologie pathologiques
 GATAULT Philippe Néphrologie
 GOUILLEUX Valérie..... Immunologie
 GUILLON Antoine Réanimation
 GUILLON-GRAMMATICO Leslie Epidémiologie, économie de la santé et prévention
 HOARAU Cyrille Immunologie
 IVANES Fabrice Physiologie
 LE GUELLEC Chantal Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
 LEFORT Bruno Pédiatrie
 LEMAIGNEN Adrien Maladies infectieuses
 MACHET Marie-Christine Anatomie et cytologie pathologiques
 MOREL Baptiste Radiologie pédiatrique
 PIVER Éric Biochimie et biologie moléculaire
 REROLLE Camille Médecine légale
 ROUMY Jérôme Biophysique et médecine nucléaire
 SAUTENET Bénédicte Thérapeutique
 TERNANT David Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique
 VUILLAUME-WINTER Marie-Laure Génétique

ZEMMOURA Ilyess Neurochirurgie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

AGUILLON-HERNANDEZ Nadia Neurosciences

BOREL Stéphanie Orthophonie

MONJAUZE Cécile Sciences du langage – orthophonie

NICOGLU Antonine Philosophie – histoire des sciences et des techniques

PATIENT Romuald..... Biologie cellulaire

RENOUX-JACQUET Cécile Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

RUIZ Christophe Médecine Générale

SAMKO Boris Médecine Générale

CHERCHEURS INSERM - CNRS - INRA

BOUAKAZ Ayache Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253

CHALON Sylvie Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253

COURTY Yves Chargé de Recherche CNRS – 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 INRA – UMR INRA 1282

GOUILLEUX Fabrice Directeur de Recherche CNRS – UMR CNRS 7001

GOMOT Marie Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253

HEUZE-VOURCH Nathalie Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100

KORKMAZ Brice Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100

LAUMONNIER Frédéric Chargé de Recherche INSERM - UMR INSERM 1253

MAZURIER Frédéric Directeur de Recherche INSERM – UMR CNRS 7001

MEUNIER Jean-Christophe Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1259

PAGET Christophe Chargé de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100

RAOUL William Chargé de Recherche INSERM – UMR CNRS 7001

SI TAHAR Mustapha Directeur de Recherche INSERM – UMR INSERM 1100

WARDAK Claire Chargée de Recherche INSERM – UMR INSERM 1253

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

Pour l'Ecole d'Orthophonie

DELORE Claire Orthophoniste

GOUIN Jean-Marie Praticien Hospitalier

Pour l'Ecole d'Orthoptie

MAJZOUB Samuel..... Praticien Hospitalier

Pour l'Ethique Médicale

BIRMELE Béatrice Praticien Hospitalier

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres 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 à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis 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 et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

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

Remerciements

Aux membres du jury

A Monsieur le Professeur Jean-Philippe COTTIER

Merci pour votre bienveillance et tout ce que vous m’avez appris pendant mon stage de neuroradiologie. Vous avez su me transmettre votre passion pour ce domaine de l’imagerie. Je suis honorée que vous soyez le président de mon jury de thèse.

A Monsieur le Professeur Laurent BRUNEREAU

Je vous remercie de m’avoir accueillie à deux reprises dans votre service, pour vos conseils et votre bienveillance. Merci pour vos staffs très enrichissants. Soyez assurés de ma gratitude.

A Monsieur le Professeur Sylvain MORINIERE

Vous me faites l’honneur de juger ce travail, veuillez trouver ici l’expression de mes sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Baptiste MOREL

Merci d’avoir dirigé cette thèse, et merci infiniment pour tout le travail et le temps passé sur notre étude. Je te remercie également pour l’enseignement de la radiologie pédiatrique dispensé pendant mon passage à Clocheville. Sois assuré de ma sincère reconnaissance.

A Monsieur le Docteur Franck MARMOUSET

Je vous remercie pour tout le travail, l’implication et le temps passé à nos côtés pour cette étude. Les radiocinemas de déglutition n’ont (presque) plus de secret pour moi désormais ! Soyez assuré de ma sincère reconnaissance.

Aux membres ayant participé et contribué à la réalisation de cette étude

A Jean Michel, qui a largement contribué à notre travail, transformant sans relâche les boucles à 15 images par seconde. Merci pour tout le temps et le travail fourni, avec ton inépuisable bonne humeur !

A Corinne, qui a permis le double aveugle grâce au PACS Qualité.

Aux techniciens de chez Siemens, Simon Filachet et Simon Corvoisier, qui ont programmé gracieusement et sur leur temps libre le logiciel permettant de retirer une image sur deux de nos boucles.

A mes proches

A mes parents, pour m'avoir permis d'en arriver là aujourd'hui. Pour leur soutien, moral, physique et matériel. Pour toutes ces innombrables choses, petites et grandes, qui font ce que je suis aujourd'hui.

A Papy Jean, qui a toujours cru en moi. J'ai tellement de bons souvenirs, je ne t'oublierai jamais. Je t'attends pour notre prochaine partie de « Barbu », tâches de ne pas collectionner toutes les femmes !

A Fafoune, mes cousins Audrey, Sylvain, Alban, et mes petites cousines Léane et Eryn, pour tous les bons moments passés ensemble et leur soutien.

A Arthur, mon frère, pour toutes nos rigolades et nos courses de ski. Je t'attends l'hiver prochain !

A Youri, pour ta joie, ton enthousiasme, ta bonne humeur, ta capacité à aller de l'avant que tu as su me transmettre. Merci pour tout ce que tu m'as appris.

A ma belle-famille, Laurence, Jean-Marie, Isabelle, Kévin, Céline, Maud, Prune, Lucas, pour m'avoir accueilli à bras ouvert.

Merci également,

A mes co-internes, que ce soit à Tours ou Orléans, pour la bonne ambiance, la bonne humeur, leur soutien durant ces 5 années d'internat.

Aux radiologues de Tours et d'Orléans, qui m'ont formé à cette spécialité et m'ont transmis leur savoir et leur passion.

Aux manipulateurs radio, riches d'expériences, qui savent nous écouter et nous épauler.

A tous ceux que j'ai pu croiser tout au long de mon parcours, et qui auront pu me marquer par leur humanité, leur savoir, et leur façon de le partager.

A Jean François, pour mon épaule, qui n'a rien perdu de ses aptitudes de médecin militaire !

A Marie Pascale, pour sa belle écurie.

A tous mes amis « du cheval », et plus particulièrement Arnaud et Pascal, pour tous les bons moments en votre compagnie et sur les terrains de concours.

A mes amis, Léo, Sandra, Benjamin, Maxime, Valentine, Leslie, Héloïse, Mohamed, Pauline, Anne – Sophie, Elisabeth, sans vous ces années d'études n'auraient pas été les mêmes.

Liste des abréviations

RCD : radiocinémas de déglutition

IPS : images par seconde

PAS : échelle pénétration – aspiration (penetration-aspiration scale)

ALARA : As Low As Reasonably Achievable

Table des matières

I - Introduction	16
II - Matériel et Méthodes	18
III- Résultats	21
IV - Discussion	23
V - Conclusion	25
Références	26
Image 1	28
Image 2	29
Image 3	30
Image 5	32
ANNEXE:	33

I - Introduction :

Les radiocinémas de déglutition (RCD) sont considérés comme le gold standard pour l'évaluation des troubles de déglutition, tant chez l'adulte que chez l'enfant [1,2]. Les RCD permettent la visualisation des mouvements complexes des phases orale, pharyngée et œsophagienne de la déglutition (image 1). Ils peuvent aider à déterminer quels muscles sont endommagés chez des patients dysphagiques et ont prouvé leur utilité clinique [3]. Les RCD sont aussi utiles pour adapter l'alimentation chez les enfants, en particulier en cas de déficience neuromusculaire. Les mesures d'exposition aux radiations pendant les RCD ont été rapportées dans des études chez l'adulte [4–6], avec une variation significative de la dose délivrée, de 1 400 à 9 620 mGy.cm² [5,7]. Tous les rapports de doses dans les précédentes études concernent des RCD effectués à 30 images/secondes (ips). Toutefois, peu de données sont disponibles chez les enfants [8–10]. En accord avec le principe ALARA, « As Low As Reasonably Achievable » (que l'on peut traduire en Français par « aussi bas que raisonnablement possible »), les RCD doivent être efficaces et informatifs, avec la plus faible dose d'irradiation possible [11]. En effet, les radiologues doivent être particulièrement vigilants chez les enfants à cause de l'augmentation du risque de leucémie et de tumeur cérébrale lié à l'exposition aux radiations [12,13]. Diminuer l'irradiation en réduisant la cadence images/seconde est une possibilité. Mais la cadence a un impact direct et proportionnel sur le nombre d'image sur lesquelles une déglutition est visible. Réduire à 15 ips a été un sujet de controverse jusqu'à aujourd'hui. La pratique pédiatrique rapportée par Hiorns *et al.* [14] était des RCD à 15 ips. Ils ont estimé pouvoir encore détecter les plus brèves aspirations tout en garantissant une dose de rayonnement minimale. L'acquisition à 30 ips n'était pas nécessaire pour la précision diagnostique et augmentait seulement la dose de rayonnement.

Toutefois, Cohen *et al.* ont évalué l'impact de la cadence image sur le jugement de petites pénétrations chez dix enfants âgés de 1 mois à 2 ans 9 mois. Ils ont conclu qu'une cadence de 15 ips ne permettait pas de juger l'incidence des pénétrations chez les enfants [15]. Une étude préliminaire incluant 5 patients rapportée par Bonilha *et al.* conclue plus prudemment que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les différences observées entre les acquisitions à 30 et 15 ips et leurs implications cliniques [16]. Dans l'étude de Mulheren *et al.* [17], les RCD enregistrés à 30 et 15 ips chez 20 adultes après un accident vasculaire cérébral ont donné des résultats contrastés dans certaines mesures temporelles et fonctionnelles de la déglutition (temps de transit pharyngé, transport du bolus et initiation de la phase pharyngée de la déglutition) mais pas dans la cotation selon l'échelle Pénétration-Aspiration (PAS « penetration-aspiration scale »). Ils suggèrent également que de plus amples

recherches sont nécessaires pour déterminer l'impact sur le jugement clinique. Cette question technique cruciale, avec le bénéfice potentiel en radioprotection chez les enfants, mérite des études supplémentaires.

Ainsi, le but de notre étude était d'évaluer l'interprétation des RCD en pédiatrie artificiellement réduits à 15 ips comparativement aux 30 ips, dans une large cohorte de 32 enfants, en utilisant l'échelle pénétration – aspiration.

II - Matériel et Méthodes :

1) Participants

Notre étude a obtenu un avis favorable du groupe éthique d'aide à la recherche Clinique (RNI 2018 092). Les parents ont fourni un consentement éclairé écrit. De janvier 2017 à juin 2018, nous avons recueilli rétrospectivement les données des RCD réalisés dans un centre hospitalier universitaire pédiatrique chez 32 enfants consécutifs.

Il y avait 15 garçons et 17 filles, dont l'âge variait de 4 mois à 16 ans (âge médian 4 ans 8 mois). Les indications de réalisation des RCD ont été enregistrées.

2) Technique d'opacification

Les opacifications ont été réalisées avec différentes textures, à base de baryte diluée, pour couvrir toute une gamme de texture et de volume de bol alimentaire. Les patients ont bu d'un biberon, d'une cuillère à café ou d'une tasse, donné par un parent, en fonction de leur âge et de leurs capacités. Les phases orale, pharyngée et œsophagienne haute ont été évaluées chez tous les patients. L'aspiration était définie comme la visualisation du produit de contraste en dessous du niveau des cordes vocales [18].

3) Technique de la radiocinématographie (ou vidéofluoroscopie)

Cinquante-cinq boucles, incluant 190 déglutitions, ont été obtenues en utilisant un système de radiographie numérique (Axiom Luminos dRF, Siemens Healthineer, Erlangen, Allemagne), avec un capteur plan, une grille anti-diffusion, un filtre d'aluminium de 2.5mm, et des filtres additionnels de cuivre de 0.2mm pour la radiographie et 0.3mm pour la radiocinématographie. Un champ complet avec diaphragme secondaire a été utilisé. L'examen a toujours été réalisé sur un patient positionné de profil, debout ou assis en fonction de sa mobilité. Tous les RCD ont été acquis à 30 ips. Des clichés standards n'ont pas été acquis en routine à moins qu'une pathologie inattendue telle qu'une sténose ne soit identifiée. Les yeux et l'encéphale ont été exclus du champ d'exposition avec une collimation adaptée. Un radiologue pédiatrique et un manipulateur en électroradiologie étaient présents en plus de l'otorhinolaryngologiste-phoniatre pédiatrique. Toutes les séquences vidéo (boucles) ont toujours été enregistrées et archivées dans le système d'archivage et de communication des images (Picture Archiving and Communication System, PACS).

4) Obtention des RCD à une cadence de 15 ips

En collaboration avec les techniciens de chez Siemens, nous avons élaboré un logiciel pour effacer une image sur deux de nos RCD et ainsi obtenir des boucles secondaires à une cadence de 15 ips. Nous n'avons pas remplacé les images supprimées par des copies des images précédentes. Toutes les boucles ont été anonymisées et randomisées.

5) Interprétation des RCD

Les vidéos ont été visionnées par un radiologue junior, un radiologue sénior et un otorhinolaryngologiste-phoniatre, en temps réel, et si besoin au ralenti, avec la possibilité de les stopper. Toutes les boucles ont été visionnées en double aveugle. Les lecteurs n'étaient pas soumis à une contrainte de temps pour l'analyse individuelle des RCD. En cas de discordance, une interprétation consensuelle a été réalisée.

L'échelle pénétration – aspiration décrite par Rosenbek *et. al.* [19] a été utilisée pour déterminer la sévérité des pénétrations et aspirations pour chaque déglutition :

1. Le produit de contraste (PDC) n'entre pas dans les voies respiratoires (image 2)
2. Le PDC pénètre dans le larynx, reste au-dessus du plan glottique, sans résidu après la déglutition (image 3)
3. Le PDC pénètre dans le larynx, reste au-dessus du plan glottique, avec résidu après la déglutition
4. Le PDC entre en contact avec le plan glottique, sans résidu après la déglutition
5. Le PDC entre en contact avec le plan glottique, avec résidu après la déglutition
6. Le PDC passe la sous-gllotte, sans résidu après la déglutition (image 4)
7. Le PDC passe la sous-gllotte, avec résidu après la déglutition malgré la toux
8. Le PDC passe la sous-gllotte, avec résidu après la déglutition sans toux (image 5)

Les grades 2 à 5 correspondent à des pénétrations, et les grades 6 à 8 à des aspirations.

Chaque boucle a été classée selon l'évènement le plus sévère observé. Les résultats consensuels des RCD à 30 ips ont été pris pour référence.

6) Qualité d'image :

La qualité d'image a été évaluée par deux radiologues (un radiologue junior de 4 ans d'expérience et un radiologue sénior de 7 ans d'expérience) en fonction de la visualisation des dix principales structures vues pendant les RCD [14] (lèvres, langue, cavité buccale, palais mou, nasopharynx, os hyoïde, l'épiglotte, la vertèbre C2, la trachée et l'œsophage) et des

mouvements de déglutition. Chaque critère a été évalué sur une échelle en 3 points : 0, inacceptable, 1, acceptable dans des conditions limitées, et 2, pleinement acceptable. Un score total des RCD supérieur à 16 a été considéré comme interprétable.

La corrélation inter-observateur de chaque critère de la qualité d'image a été évaluée en utilisant le Kappa de Fleiss. Le résultat était considéré comme « limite » si κ était entre 0.21 et 0.40, « modéré » si κ était entre 0.41 et 0.60, « substantiel » si κ était entre 0.61 et 0.80, et « presque parfait » si κ était entre 0.81 et 1 [20]. Le logiciel R a été utilisé pour réaliser l'analyse statistique [21].

III- Résultats :

Etant donné la courbe de progression du radiologue junior, ses interprétations n'ont pas été prises en compte dans l'analyse statistique.

Les justifications cliniques pour la réalisation des examens étaient une suspicion de trouble de déglutition chez 21 enfants, et 11 enfants atteints de déficience neuromusculaire, afin de permettre la modification des techniques d'alimentation et de prévenir les complications secondaires.

Considérant les conclusions de nos RCD, 16 enfants avaient des troubles de déglutition.

Les différentes parties d'une déglutition physiologique (initiation de la déglutition pharyngée, élévation de l'os hyoïde, bascule épiglottique, propulsion du bol alimentaire, ouverture du sphincter supérieur de l'œsophage) sont apparus normaux sur 34 boucles, sans pénétration ni aspiration.

Vingt et une boucles étaient pathologiques : 11 comprenaient au moins une pénétration sus glottique et 10 comprenaient au moins une aspiration. Considérant les résultats pour chaque boucle (comprenant plusieurs déglutitions), les conclusions à 15 et 30 ips étaient identiques.

Considérant chaque déglutition, 144 étaient normales. Des troubles de déglutition ont été confirmés sur 46 déglutitions : 23 pénétrations et 23 aspirations.

- Parmi les 23 pénétrations, quatorze pénétrations grade 2, quatre pénétrations grade 3, quatre pénétrations grade 4 et une pénétration grade 5 ont été observées.
- Parmi les 23 aspirations, dix aspirations grade 6, trois aspirations grade 7 et dix aspirations grade 8 ont été observées.

Paramètres techniques des radiocinémas :

Les acquisitions ont toujours été réalisées sur des patients positionnés de profil. Le potentiel moyen du tube était de 73 kV (médiane = 72 kVp, intervalle = 64-88kVp). Le champ de vue était de 33cm, avec un intervalle [22.7 – 42.6cm]. Les opacifications ont été réalisées en fonction du statut alimentaire du patient.

Qualité d'image :

Tous les examens réalisés avaient un score de qualité d'image > 16 et étaient considérés comme interprétables.

Caractéristiques des RCD à 15 images/seconde :

En considérant chaque déglutition, nous avons observé 3 faux positifs et 3 faux négatifs à 15 ips (pénétrations grade 2 et 3). La sensibilité et la spécificité étaient respectivement de 93% [IC = 0.82-0.98] et 98% [IC = 0.94-0.99]. La valeur prédictive positive était de 93% et la valeur prédictive négative de 98%. Le coefficient Kappa de Cohen entre les interprétations de chaque déglutition à 15 et 30 ips était « presque parfait » ($\kappa=0.95$; CI=0.88-0.99).

IV - Discussion :

Le RCD constitue un examen important dans l'évaluation des troubles de déglutition chez les nourrissons et les enfants [22]. Réduire la cadence à 15 ips pendant les RCD semble être tout à fait acceptable avec des performances diagnostiques comparables aux 30 ips. Même si nous étions conscients du risque d'erreur diagnostique, bien que notre sensibilité et notre spécificité étaient légèrement inférieures aux 30 ips, cela n'a pas changé l'interprétation finale de nos RCD. En effet, si un écart a été très rarement observé dans la classification des déglutitions selon l'échelle PAS, comme plusieurs déglutitions consécutives ont été étudiées pour chaque patient, nous n'avons manqué à 15 ips aucun diagnostic de pénétration ou d'aspiration pour aucun des patients. Il a déjà été reconnu que bien que les RCD soient considérés comme le gold standard pour identifier les troubles de déglutition, leur interprétation reste largement subjective [22–24]. Avec notre interprétation finale consensuelle, nous augmentons notre fiabilité dans la classification des troubles de déglutition selon l'échelle PAS. Contrairement aux études précédentes comportant un plus petit nombre de cas (5 dans Bonilha *et al.*, 10 dans Cohen *et al.* et 20 dans Mulheren *et al.*), nous avons étudié une large population pédiatrique de 32 patients, avec 55 boucles incluant 190 déglutitions. Nos résultats sont en accord avec l'étude préliminaire de Bonilha *et al.* qui notait lors de l'analyse des données de chaque déglutition que le meilleur accord était entre 30 et 15 ips [16]. Ils ont également rapporté que la discordance observée en utilisant l'échelle PAS n'était pas une conclusion solide dans leur étude.

Dans l'étude Cohen *et al.* ils ont compté le nombre d'images sur lesquelles chaque pénétration était visible en profondeur sur une cohorte de 10 enfants, âgés de 1 mois à 2 ans 9 mois. La déglutition chez le nourrisson est un mouvement très rapide qui dure une seconde. Chez trois des sept enfants où la pénétration n'était visible que sur une image, il n'y avait pas d'images supplémentaires montrant une pénétration partielle [15]. Mais ils ne se sont concentrés que sur des pénétrations sur un petit échantillon et il apparaît très difficile de dire si la seule image montrant une pénétration serait ou ne serait pas présente sur un RCD réalisé à 15 ips. Dans nos résultats, cette situation ne s'est pas présentée. Dans les déglutitions pathologiques que nous avons étudiées, les pénétrations et aspirations étaient visibles sur au moins deux images, et observées sur au moins deux déglutitions différentes.

La résolution temporelle apparaît très importante pour l'analyse de la déglutition dans sa globalité, mais diminuer la cadence image / seconde des vidéofluoroscopies en tant que

stratégie visant à réduire la dose d'irradiation n'a pas affecté la capacité à porter un jugement correct sur un trouble de déglutition. Une fréquence de 15 ips peut être suffisante pour enregistrer les aspirations et pénétrations chez les enfants ; cependant, des phénomènes biomécaniques plus subtils peuvent être manqués à une cadence plus lente en raison de la rapidité des mouvements physiologiques complexes de la déglutition.

Nous n'avons observé aucun effet de la diminution de la cadence images/seconde sur la différenciation entre pénétration et aspiration. Cependant, les faux positifs et faux négatifs observés à 15 ips sur des pénétrations de bas grade étaient possiblement partiellement dus à une mauvaise interprétation de l'évènement, expliquée par une cadence image plus faible.

Réduire l'exposition aux radiations chez les enfants est une priorité tout en continuant d'obtenir un maximum d'informations des RCD. En effet, le risque pour chaque organe ou tissu exposé aux radiations dépend de trois facteurs : la dose moyenne de rayonnement absorbé, le sexe et l'âge lors de l'exposition.

Les conséquences de la réduction de la cadence image chez les adultes n'ont pas été évaluées dans notre étude, mais le bénéfice potentiel de la réduction de l'exposition aux radiations existe [25].

Dans les cas étudiés, la réduction de la cadence à 15 ips n'aurait pas entraîné de modification de la prise en charge clinique ni de diminution du rendement des RCD.

Un avantage majeur de la réduction de la cadence image est la diminution de l'exposition des enfants aux rayonnements ionisants. Plus précisément, les résultats de l'étude d'Aufrichtig *et al.* ont montré une diminution moyenne de la dose de 22% à 15 ips comparativement aux doses obtenues à 30 ips [26].

V - Conclusion :

Notre interprétation consensuelle des troubles de déglutition observés chez des enfants sur des RCD à 15 images par seconde sur 190 déglutitions n'aurait pas entraîné de modification de la prise en charge clinique.

Bien que le gold standard toujours recommandé soit une vidéofluoroscopie à 30 ips pour une évaluation optimale de la déglutition, nous voudrions suggérer de reconsidérer la possibilité d'utiliser des RCD à une cadence de 15 ips dans une population pédiatrique, avec comme intérêt majeur sous-jacent une diminution de l'exposition aux rayonnements.

Références

1. Broniatowski M, Sonies BC, Rubin JS, Bradshaw CR, Spiegel JR, Bastian RW, et al. Current evaluation and treatment of patients with swallowing disorders. *Otolaryngol--Head Neck Surg Off J Am Acad Otolaryngol-Head Neck Surg*. 1999;120:464–73.
2. Arvedson JC, Lefton-Greif MA. Pediatric videofluoroscopic swallow studies: A professional manual with caregiver guidelines. Communication Skill Builders/Psychological Corporation; 1998.
3. Martin-Harris B, Logemann JA, McMahon S, Schleicher M, Sandidge J. Clinical utility of the modified barium swallow. *Dysphagia*. 2000;15:136–41.
4. Chau KHT, Kung CMA. Patient Dose During Videofluoroscopy Swallowing Studies in a Hong Kong Public Hospital. *Dysphagia*. 2009;24:387–90.
5. Kim HM, Choi KH, Kim TW. Patients' radiation dose during videofluoroscopic swallowing studies according to underlying characteristics. *Dysphagia*. 2013;28:153–8.
6. Wright RE, Boyd CS, Workman A. Radiation doses to patients during pharyngeal videofluoroscopy. *Dysphagia*. 1998;13:113–5.
7. Zammit-Maempel I, Chapple C-L, Leslie P. Radiation Dose in Videofluoroscopic Swallow Studies. *Dysphagia*. 2006;22:13–5.
8. Flax-Goldenberg R, Kulkarni KS, Carson KA, Pinto JM, Martin-Harris B, Lefton-Greif MA. Concordance Between Aspiration Detected on Upper Gastrointestinal Series and Videofluoroscopic Swallow Study in Bottle-Fed Children. *Dysphagia*. 2016;
9. Weir KA, McMahon SM, Long G, Bunch JA, Pandeya N, Coakley KS, et al. Radiation doses to children during modified barium swallow studies. *Pediatr Radiol*. 2007;37:283–90.
10. Hersh C, Wentland C, Sally S, de Stadler M, Hardy S, Fracchia MS, et al. Radiation exposure from videofluoroscopic swallow studies in children with a type 1 laryngeal cleft and pharyngeal dysphagia: A retrospective review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2016;89:92–6.
11. Cohen MD. ALARA, image gently and CT-induced cancer. *Pediatr Radiol*. 2015;45:465–70.
12. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet*. 2012;380:499–505.
13. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *The BMJ*. 2013;346:f2360.
14. Hiorns MP, Ryan MM. Current practice in paediatric videofluoroscopy. *Pediatr Radiol*. 2006;36:911–9.
15. Cohen MD. Can we use pulsed fluoroscopy to decrease the radiation dose during video fluoroscopic feeding studies in children? *Clin Radiol*. 2009;64:70–3.

16. Bonilha HS, Blair J, Carnes B, Huda W, Humphries K, McGrattan K, et al. Preliminary investigation of the effect of pulse rate on judgments of swallowing impairment and treatment recommendations. *Dysphagia*. 2013;28:528–38.
17. Mulheren RW, Azola A, González-Fernández M. Do Ratings of Swallowing Function Differ by Videofluoroscopic Rate? An Exploratory Analysis in Patients After Acute Stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;
18. Logemann JA. Manual for the videofluorographic study of swallowing. Pro ed; 1993.
19. Rosenbek JC, Robbins JA, Roecker EB, Coyle JL, Wood JL. A penetration-aspiration scale. *Dysphagia*. 1996;11:93–8.
20. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33:159–74.
21. Team RC. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria; 2014. URL [Httpwww R-Proj Org](http://www.R-Project.org). 2015;
22. Henderson M, Miles A, Holgate V, Peryman S, Allen J. Application and Verification of Quantitative Objective Videofluoroscopic Swallowing Measures in a Pediatric Population with Dysphagia. *J Pediatr*. 2016;178:200-205.e1.
23. Lefton-Greif MA, McGrattan KE, Carson KA, Pinto JM, Wright JM, Martin-Harris B. First Steps Towards Development of an Instrument for the Reproducible Quantification of Oropharyngeal Swallow Physiology in Bottle-Fed Children. *Dysphagia*. 2018;33:76–82.
24. Lee JW, Randall DR, Evangelista LM, Kuhn MA, Belafsky PC. Subjective Assessment of Videofluoroscopic Swallow Studies. *Otolaryngol--Head Neck Surg Off J Am Acad Otolaryngol-Head Neck Surg*. 2017;156:901–5.
25. Bonilha HS, Huda W, Wilmskoetter J, Martin-Harris B, Tipnis SV. Radiation Risks to Adult Patients Undergoing Modified Barium Swallow Studies. *Dysphagia*. 2019;
26. Aufrichtig R, Xue P, Thomas CW, Gilmore GC, Wilson DL. Perceptual comparison of pulsed and continuous fluoroscopy. *Med Phys*. 1994;21:245–56.

Image 1 : Phases de la déglutition, d'après Marmouset F, Hammoudi K, Bobillier C, Morinière S. Physiologie de la déglutition normale. EMC - Otorhinolaryngologie 2015;0(0):1-12 [Article 20-801-A-10].

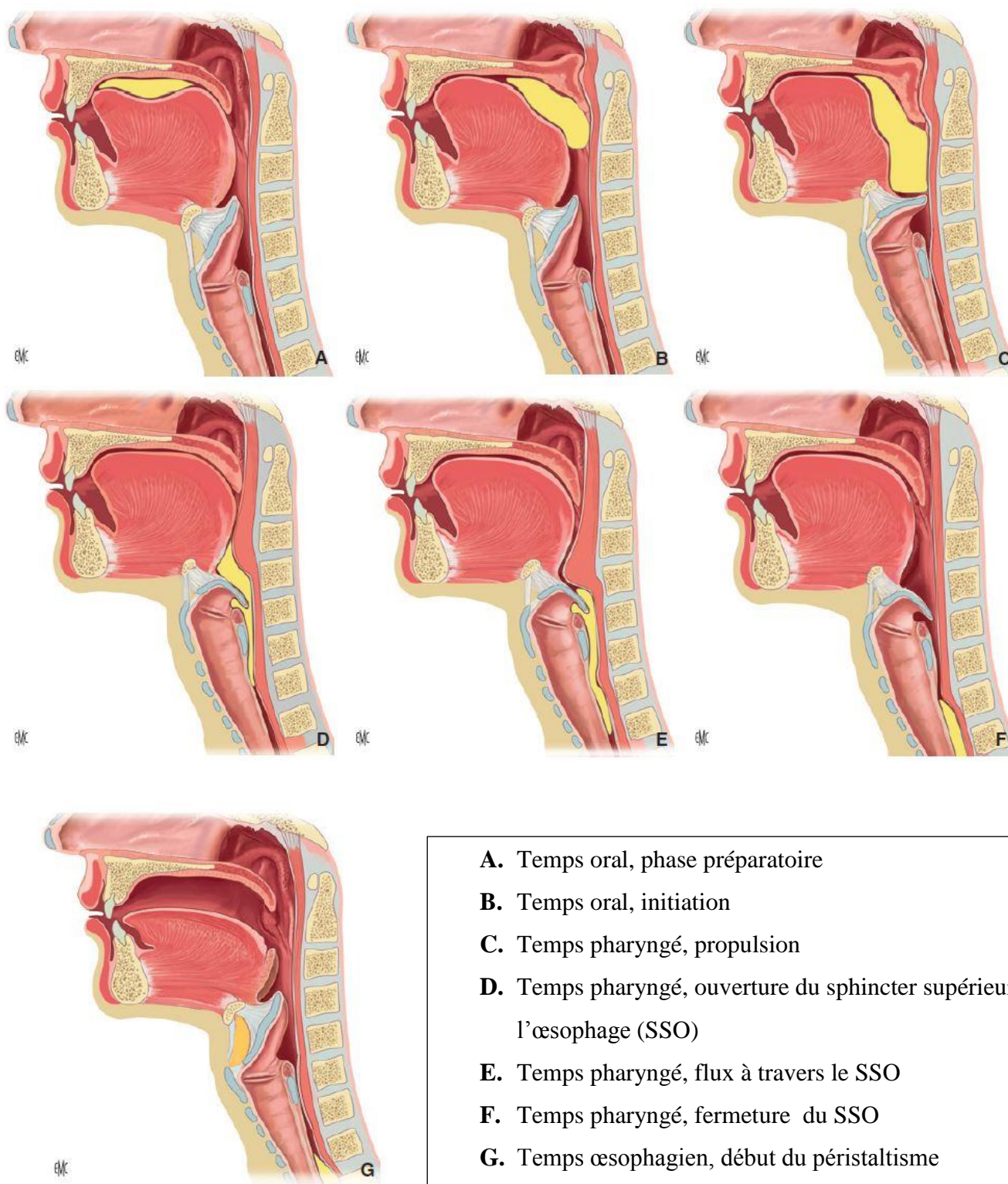


Image 2 : déglutition normale (grade 1)



1



2



3

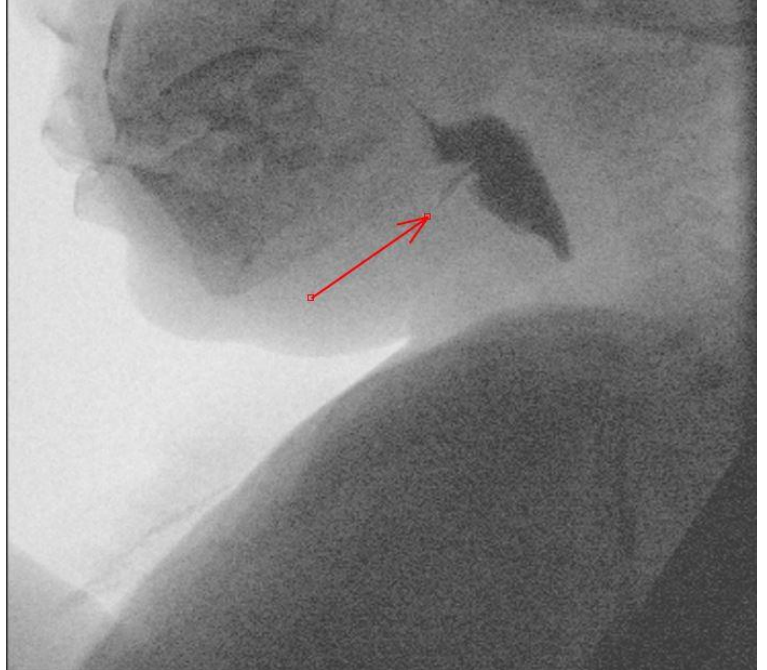


4

Image 3 : fausse route grade 2



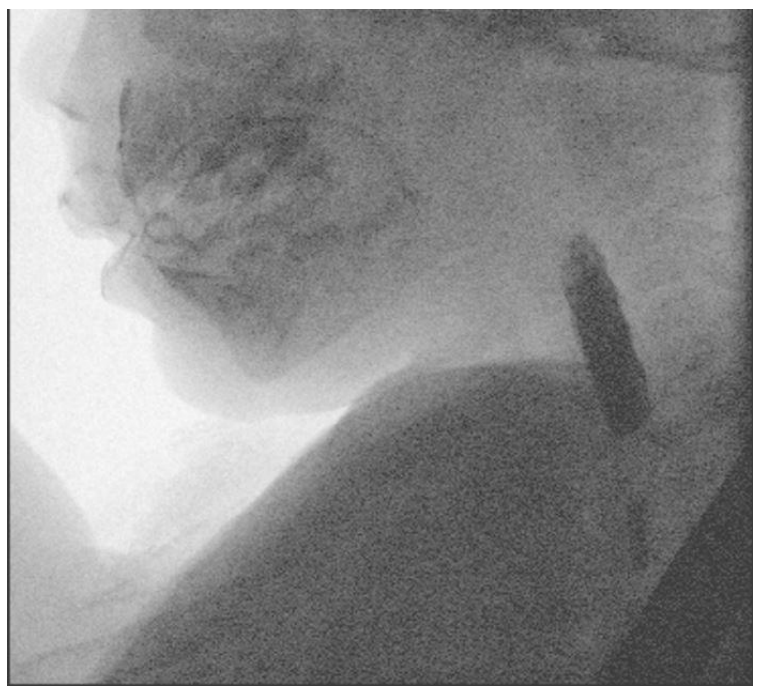
1



2



3

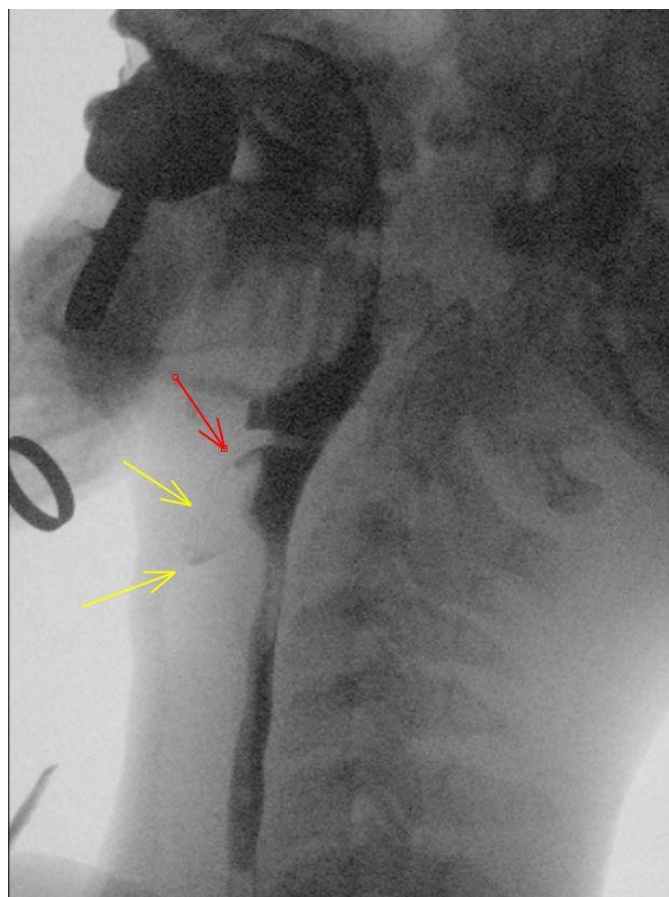


4

Image 4 : fausse route grade 6



1



2

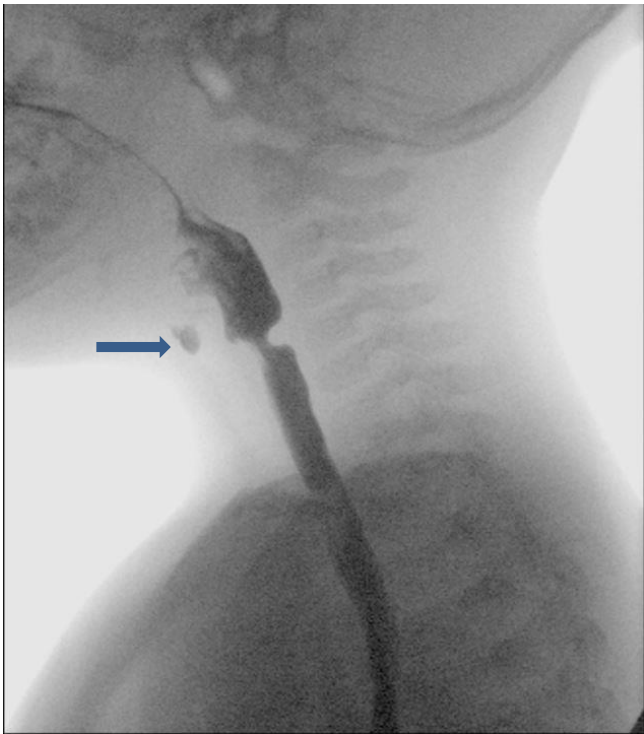


3

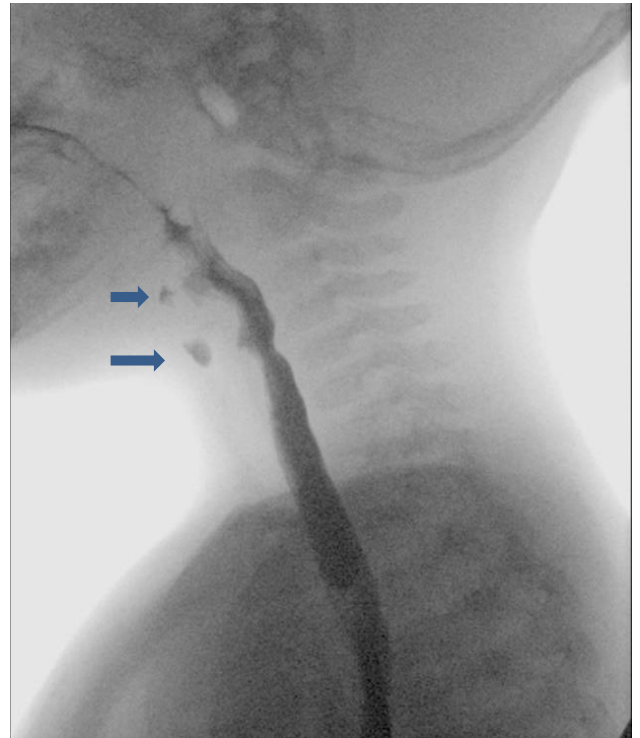


4

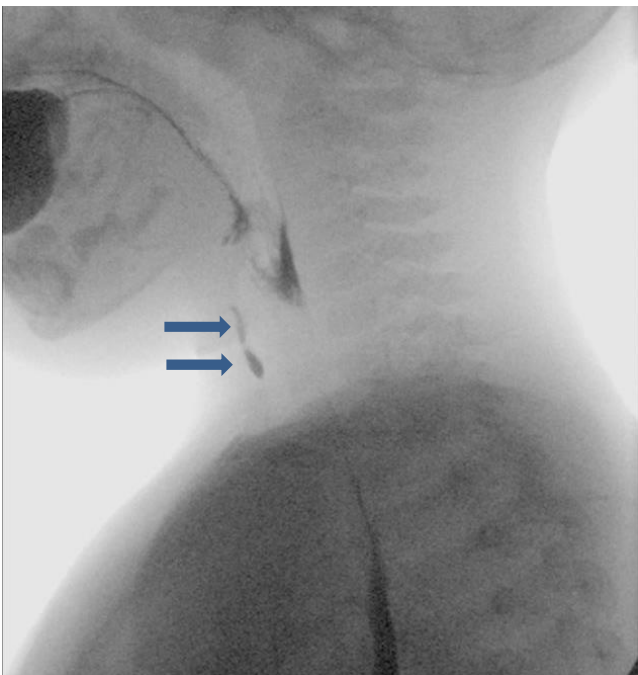
Image 5 : fausse route grade 8



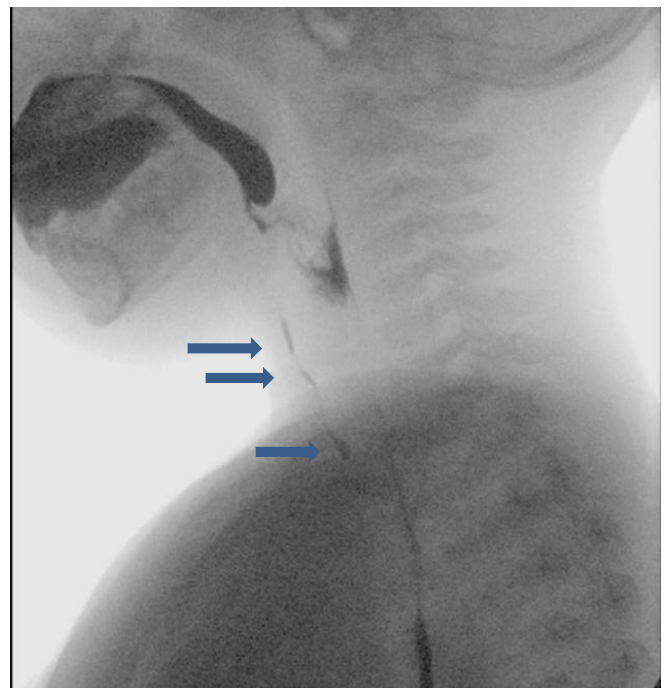
1



2



3



4

ANNEXE :

Article original publié le 5 juin 2019 dans la revue Dysphagia



Can We Reduce Frame Rate to 15 Images per Second in Pediatric Videofluoroscopic Swallow Studies?

Julie Layly¹ · Franck Marmouset² · Guillaume Chassagnon¹ · Philippe Bertrand^{3,4} · Dominique Sirinelli^{1,4} · Jean-Philippe Cottier^{3,4} · Baptiste Morel^{1,4}

Received: 15 March 2019 / Revised: 30 April 2019 / Accepted: 31 May 2019
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019

Abstract

Videofluoroscopic Swallow studies (VFSS) are useful radiological examinations to explore swallowing disorders but which require ionizing radiation. The aim of our study was to evaluate the comparability of pediatric VFSS at 15 frames per second (fps) with 30 fps. Fifty-five loops including 190 swallowings of VFSS at 30 fps performed on 32 consecutive pediatric patients in a University Hospital Center were retrospectively modified by a software to delete one image out of two to obtain secondary loops with a frame rate of 15 fps. An otorhinolaryngologist-phonatrist and a radiologist reviewed all swallowings blindly and randomly using the penetration and aspiration scale (PAS). In case of discordance, they concluded a consensual interpretation. Fifteen girls and seventeen boys were included. The median age was 4 years and 8 months (range = 4 months–16 yr.). 144 swallowings were normal. Swallowing disorder was confirmed in 46 swallowings, (23 supraglottic penetrations and 23 aspirations). Considering each swallowing at 15 fps, sensitivity and specificity were, respectively, 93% (CI 0.82–0.98) and 98% (CI 0.94–0.99). The Cohen's Kappa coefficient between each interpretation at 15 and 30 fps was "almost perfect" ($\kappa = 0.95$; CI 0.88–0.99). Considering each loop, conclusion was identical. Reducing frame rate at 15 fps during pediatric VFSS seemed to be acceptable with comparable diagnostic performances without clinical impact compared to 30 fps, while being an efficient way to reduce the ionizing radiation exposition in children. We would suggest reconsidering the possibility of using VFSS with a 15 fps in a pediatric population.

Keywords Deglutition · Deglutition disorders · Dysphagia · Video Fluoroscopic swallow study · Children · Pediatric radiology · Ionizing radiation · ALARA

Abbreviations

VFSS Video Fluoroscopic Swallow Study

Introduction

Video Fluoroscopic Swallow Study (VFSS) is considered the gold standard method for evaluating swallowing disorders, in both adults and children [1, 2]. VFSS permits visualization of complex movements from oral, pharyngeal, and upper esophageal phases of swallowing. VFSS can help to determine which muscles are damaged in patients with dysphagia and has proven clinical utility [3]. VFSS is also useful in adapting alimentation in children, especially with neuromuscular impairment. Radiation exposure measured during VFSS has been reported in adult studies [4–6], with significant variation of the delivered dose, between 1400 and 9620 mGy cm² [5, 7]. All doses reported in previous studies for VFSS were performed at 30 FPS. However, few data are available concerning children [8–10]. According to the as low as reasonably achievable principle, the VFSS must be efficient and informative, with the smallest possible radiation dose [11]. Indeed, radiologists must be particularly vigilant

✉ Baptiste Morel
baptiste.morel@univ-tours.fr

¹ Pediatric Radiology Department, Clocheville Hospital, CHRU Tours, 49 Boulevard Beranger, 37000 Tours, France

² Otorhinolaryngology Department, Clocheville Hospital, CHRU Tours, 49 Boulevard Beranger, Tours, France

³ Radiology Department, Bretonneau Hospital, CHRU Tours, 10 Boulevard Tonnellé, Tours, France

⁴ Faculty of Medicine, Francois Rabelais University, Tours, France

with children because of the increased risk of leukemia and brain cancer linked to radiation exposure [12, 13]. Decreasing radiation by reducing fps is a possibility. But the pulse rate has a direct and proportional effect on the number of unique images in which a swallowing is captured. Reducing to a 15 fps until today it has been a subject of controversy. The pediatric practice reported by Hiorns et al. [14] was VFSS at 15 fps. They considered that they could still detect the briefest of aspirations whilst ensuring the minimum radiation dose. Continuous screening at 30 fps was not necessary for diagnostic accuracy and only increased the radiation dose. However, Cohen et al. evaluated the impact of pulse rate on the judgment of penetration of thin liquid barium in ten children ranging in age from 1 month to 2 years 9 months. They concluded that 15 fps was inadequate for judging the incidence of penetration in children [15]. A preliminary study including five patients reported by Bonilha et al. concluded more prudently that further research was needed to ensure a better understanding of the differences observed and their clinical implications between the 30 and 15 fps recordings [16]. Continuous VFSS recorded at 30 fps and their down-sampled 15 fps in 20 adult patients after acute strokes yielded contrasting results in certain durational and functional measures of swallowing (Pharyngeal transit time, Bolus Transport and Initiation of Pharyngeal Swallow) though not in the Penetration-Aspiration Scale scores in the Mulheren et al. study. [17]. They also suggested further research was warranted to determine the effect on clinical judgment. This crucial technical question, with the potential benefit of radiation protection for children, deserves additional studies.

The aim of our study was to evaluate the interpretation of pediatric VFSS artificially reduced at 15 fps with 30 fps in a large cohort of 32 children using the PAS.

Materials and Methods

Participants

Approval from the Institutional research ethics board was obtained (RNI 2018 092). Patients provided written informed consent. From January 2017 to June 2018, we prospectively collected data from the videofluoroscopic swallow studies in 32 consecutive pediatric patients under 13 years of age, seen in a pediatric tertiary University Hospital Center. There were 15 boys and 17 girls, the age varied from 4 months to 16 years, (median age 4 years 8 months). Reasons for referral to the VFSS were recorded.

Opacification Technique

Opacification was achieved with different textures, from liquid to solid, mixed with diluted barium, to cover a range of controlled consistencies and bolus volumes. The patients drank from a teaspoon or a cup, given by one parent, depending on their age and their capacities. Oral, pharyngeal and upper esophageal phases were evaluated in all patients. Aspiration was defined as entry of food or fluid below the level of the true vocal folds [18].

Videofluoroscopy Technique

Fifty-five loops, including 190 swallowings, were obtained using a digital fluororadiography system (Axiom Luminos dRF, Siemens Healthineer, Erlangen, Germany) with flat panel detector, an anti-scatter grid, inherent filtration of 2.5 mm Aluminium and additional filtration of 0.2 mm of copper for radiography and 0.3 mm of copper for videofluoroscopy. A full field with secondary diaphragms was used. The patients were always examined in the lateral position, either while standing or sitting, depending on their mobility. All VFSS were acquired at 30 images per second. Spot films were not routinely acquired unless unexpected pathology such as a stricture was identified. Eyes and brain were excluded from the primary beam with an adapted collimation. A pediatric radiologist and a radiological technician were routinely present in addition to the pediatric otorhinolaryngologist-phonatrician. The entire video sequences were always recorded and archived in the Picture Archiving and Communication System.

Obtention of VFSS with a Frame Rate of 15 fps

We elaborated a software to delete one image out of two to obtain secondary loops with a frame rate of 15 fps. We did not replace the deleted frames with copies of the preceding frames. All video clips were de-identified and then assigned random numeric identifiers.

Interpretation of VFSS

The videos were reviewed in real time, and when necessary in slow motion with the possibility of a stop frame by both the radiologist and the pediatric otorhinolaryngologist-phonatrician. They reviewed all loops blindly and randomly. They were not provided with time constraints for individual video analysis. In case of discordance, they concluded a consensual interpretation.

The penetration and aspiration scale (PAS) described by Rosenbek et al. [19] was used to determine the penetration and aspiration severity for each swallowing:

1. Material does not enter the airway
2. Material enters the airway, remains above the vocal folds, and is ejected from the airway
3. Material enters the airway, remains above the vocal folds, and is not ejected from the airway
4. Material enters the airway, contacts the vocal folds, and is ejected from the airway
5. Material enters the airway, contacts the vocal folds, and is not ejected from the airway
6. Material enters the airway, passes below the vocal folds, and is ejected into the larynx or out of the airway
7. Material enters the airway, passes below the vocal folds, and is not ejected from the trachea despite some effort
8. Material enters the airway, passes below the vocal folds, and no effort is made to eject

A loop was classified according to the most severe event observed. The consensual results of the VFSS at 30 fps were considered as the gold standard.

Image Quality

The image quality was evaluated by two radiologists (one junior resident of 3 years of experience and one senior of 6 years of experience) depending on the visualization of the ten principles structures seen during VFSS [14] (lips, tongue, oral cavity, soft palate, nasopharynx, hyoid, epiglottis, C2 vertebra, trachea and esophagus) and deglutition movement. Each criterion was on a 3-point scale: 0, unacceptable, 1, only acceptable under limited conditions and 2, fully acceptable. A total score of the VFSS superior to 16 was considered as fully interpretable.

Statistics

Interobserver repeatability of each criterion of image quality was assessed using the Fleiss's Kappa. Agreement was considered "fair" if κ was between 0.21 and 0.40, "moderate" if κ was between 0.41 and 0.60, "substantial" if κ was between 0.61 and 0.80, and "almost perfect" if κ was between 0.81 and 1 [20]. We used R software to implement the statistical analyses [21].

Results

Participants

The clinical reasons for referral were a suspected deglutition disorder in 21 patients and 11 children with neuromuscular

impairment to allow modification of feeding techniques and to prevent secondary complications.

Considering the conclusion of our VFSS, 16 children had deglutition disorders.

Physiological swallowing components (initiation of pharyngeal swallow, anterior hyoid excursion, epiglottic movement, pharyngeal contraction, pharyngeal-esophageal segment opening, and tongue base retraction) appeared normal, with no penetration or aspiration noted during a sample of swallows in 34 loops. Twenty-one loops were abnormal: 11 included at least one supraglottic penetration and 10 included at least one aspiration. Considering the results for each loop (including several swallowings), the conclusions at 15 fps and 30 fps were identical.

Considering each swallowing, 144 were normal. Deglutition disorder was confirmed in 46 swallowings: 23 penetrations and 23 aspirations.

Among the 23 penetrations, 14 penetrations grade 2, 4 penetrations grade 3, 4 penetrations grade 4 and 1 penetration grade 5 were observed.

Among the 23 aspirations, 10 aspirations grade 6, 3 aspirations grade 7 and 10 aspirations grade 8 were observed.

Videofluoroscopy Technique

The patients were always imaged in the lateral position, with a mean tube potential of 73 kV (median = 72 kVp, range = 64–88 kVp). The field of view was 33 cm, range (22.7–42.6 cm). Opacification was realized depending on the eating status of the children.

Image Quality

All patients had an image quality score determined by radiologist superior to 16 and were considered to have a full interpretable VFSS.

Characteristics of VFSS at 15 Images/Second

When considering each swallowing, we observed 3 false positive and 3 false negative at 15 fps (grade 2 and 3 penetrations). Sensitivity and specificity were, respectively, 93% (CI 0.82–0.98) and 98% (CI 0.94–0.99). Predictive Positive and Negative Predictive Values were of 93 and 98%. The Cohen's Kappa coefficient between the interpretation of each swallowing at 15 and 30 fps was "almost perfect" ($\kappa = 0.95$; CI 0.88–0.99).

Discussion

VFSS constitute an important examination when evaluating deglutition disorders in infants and children [22]. Reducing frame rate at 15 fps during VFSS seemed to be fully acceptable with comparable diagnostic performances compared to 30 fps. Even if we were aware of the risks of misdiagnosing swallowing disorders, although our sensibility and specificity were slightly lower than at 30 fps considering each swallowing, it did not change the final interpretation of our VFSS. Indeed, if a discrepancy had been very rarely observed in the classification of the PAS in swallowings, as several consecutive swallowings were studied during each loop, we did not miss any penetration or aspiration in any of the patients. And it has already been recognized that even though the VFSS is considered as the gold standard in identifying swallowing disorders, interpretation remains largely subjective [22–24]. With our final consensual interpretation, we increase our reliability in the classification of swallowing disorders using the PAS. Contrary to previous studies with a smaller number of cases (five in Bonilha et al., ten in Cohen et al. and 20 in Mulheren et al. studies), we studied a large pediatric population of 32 patients, with 55 loops including 190 swallowings. Our results were in accordance with the Bonilha et al. preliminary study, which noticed that when analyzing the data for individual swallows, the highest agreement was between 30 and 15 fps [16]. They also reported that the discrepancy observed using the PAS was not a robust finding in their study.

In the Cohen et al. study, they counted the number of unique images in which penetration was visible at full depth in a cohort of ten children, aged from 1 month to 2 years 9 months. Swallowing in infants is a very fast movement that lasts one second. In three of the seven children where penetration was visible in only one frame, there were no additional frames that showed partial penetration [15]. But they only focused on penetration in a small sample and it appears very difficult to predict that the potential only one frame showing a penetration would or would not be present in a VFSS performed at 15 fps. In our results, this situation did not happen. In pathologic swallowing disorders, penetration and aspiration were visible in at least two images, and observed in at least two different swallowings.

Temporal resolution appeared to be very important for analyzing the swallow in its entirety but decreasing fluoroscopy pulse rates as a strategy to reduce radiation dose did not affect the ability to make correct judgments of a swallowing disorder. A 15 fps may be adequate to record aspiration and penetration in children; however, more subtle biomechanical and kinematic phenomena may be missed at the slower sampling frequency due to the rapidity of the physiological swallowing components.

We did not observe any effect of the frame rate per second on the evaluation of the magnitude of the PAS values. However, the false positive and false negative low-grade penetrations observed at 15 fps were possibly partially due to a misinterpretation of the event explained by a lower fps.

Reducing the radiation exposure in children is a priority while maintaining the maximum of information from a VFSS. Indeed, the radiation risk to any exposed organ and tissue depends mainly on three factors: average radiation absorbed dose, individual sex, and age at exposure. However, the consequences of reducing the frame rate in adults had not been evaluated in our study, but the potential benefit of a reduction of radiation exposure exists [25].

As it did not change the treatment plan for our patients, reducing frame rate at 15 fps did not result in a clinically relevant reduction in yield. One major advantage of reducing frame rate is to reduce the ionizing radiation exposition in children. Specifically, the results of Aufrichtig et al. showed average dose reductions of 22% at 15 fps when compared to doses at 30 fps [26].

Conclusion

Our consensual interpretation of pediatric swallowing disorders observed during VFSS performed with 15 frames per second on 190 swallowings did not lead to clinical change. Although the common standard of continuous fluoroscopy or 30 fps is still recommended for the optimal evaluation of swallowing function, we would like to suggest reconsidering the possibility of using VFSS with a 15 fps in a pediatric population, with the great interest of a potential significant decrease in radiation exposition.

Acknowledgements The authors thank Mr John Sheath for English language assistance and their friendly support; Mr Simon Courvoisier and Mr Simon Filachet, from Siemens Healthineer, for the conception of the software.

Compliance with Ethical Standards

Conflict of Interest The authors have no conflicts of interest to disclose.

Ethical Approval All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards. Approval from the Institutional research ethics board was obtained (RNI 2018 092). Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

References

1. Broniatowski M, Sonies BC, Rubin JS, Bradshaw CR, Spiegel JR, Bastian RW, et al. Current evaluation and treatment of patients with swallowing disorders. *Otolaryngol-Head Neck Surg*. 1999;120:464–73.
2. Arvedson JC, Lefton-Greif MA. Pediatric videofluoroscopic swallow studies: A professional manual with caregiver guidelines. San Antonio: Communication Skill Builders/Psychological Corporation; 1998.
3. Martin-Harris B, Logemann JA, McMahon S, Schleicher M, Sandridge J. Clinical utility of the modified barium swallow. *Dysphagia*. 2000;15:136–41.
4. Chau KHT, Kung CMA. Patient dose during videofluoroscopy swallowing studies in a Hong Kong Public Hospital. *Dysphagia*. 2009;24:387–90.
5. Kim HM, Choi KH, Kim TW. Patients' radiation dose during videofluoroscopic swallowing studies according to underlying characteristics. *Dysphagia*. 2013;28:153–8.
6. Wright RE, Boyd CS, Workman A. Radiation doses to patients during pharyngeal videofluoroscopy. *Dysphagia*. 1998;13:113–5.
7. Zammit-Maempel I, Chapple C-L, Leslie P. Radiation dose in videofluoroscopic swallow studies. *Dysphagia*. 2006;22:13–5.
8. Flax-Goldenberg R, Kulkarni KS, Carson KA, Pinto JM, Martin-Harris B, Lefton-Greif MA. Concordance between aspiration detected on upper gastrointestinal series and videofluoroscopic swallow study in bottle-fed children. *Dysphagia*. 2016;31:505–10.
9. Weir KA, McMahon SM, Long G, Bunch JA, Pandeya N, Coakley KS, et al. Radiation doses to children during modified barium swallow studies. *Pediatr Radiol*. 2007;37:283–90.
10. Hersh C, Wentland C, Sally S, de Stadler M, Hardy S, Fracchia MS, et al. Radiation exposure from videofluoroscopic swallow studies in children with a type I laryngeal cleft and pharyngeal dysphagia: a retrospective review. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2016;89:92–6.
11. Cohen MD. ALARA, image gently and CT-induced cancer. *Pediatr Radiol*. 2015;45:465–70.
12. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet*. 2012;380:499–505.
13. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *The BMJ*. 2013;346:f2360.
14. Hiorns MP, Ryan MM. Current practice in paediatric videofluoroscopy. *Pediatr Radiol*. 2006;36:911–9.
15. Cohen MD. Can we use pulsed fluoroscopy to decrease the radiation dose during video fluoroscopic feeding studies in children? *Clin Radiol*. 2009;64:70–3.
16. Bonilha HS, Blair J, Carnes B, Huda W, Humphries K, McGrattan K, et al. Preliminary investigation of the effect of pulse rate on judgments of swallowing impairment and treatment recommendations. *Dysphagia*. 2013;28:528–38.
17. Mulheren RW, Azola A, González-Fernández M. Do ratings of swallowing function differ by videofluoroscopic rate? An exploratory analysis in patients after acute stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;100:1085–90.
18. Logemann JA. Manual for the videofluorographic study of swallowing. Austin: Pro ed; 1993.
19. Rosenbek JC, Robbins JA, Roecker EB, Coyle JL, Wood JL. A penetration-aspiration scale. *Dysphagia*. 1996;11:93–8.
20. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33:159–74.
21. Team RC. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria; 2014. <https://www.R-Project.org>. 2015;
22. Henderson M, Miles A, Holgate V, Peryman S, Allen J. Application and verification of quantitative objective videofluoroscopic swallowing measures in a pediatric population with dysphagia. *J Pediatr*. 2016;178(200–205):e1.
23. Lefton-Greif MA, McGrattan KE, Carson KA, Pinto JM, Wright JM, Martin-Harris B. First steps towards development of an instrument for the reproducible quantification of oropharyngeal swallow physiology in bottle-fed children. *Dysphagia*. 2018;33:76–82.
24. Lee JW, Randall DR, Evangelista LM, Kuhn MA, Belafsky PC. Subjective assessment of videofluoroscopic swallow studies. *Otolaryngol-Head Neck Surg*. 2017;156:901–5.
25. Bonilha HS, Huda W, Wilmskoetter J, Martin-Harris B, Tipnis SV. Radiation risks to adult patients undergoing modified barium swallow studies. *Dysphagia*. 2019;1:1. <https://doi.org/10.1007/s00455-019-09993-w>.
26. Aufrecht R, Xue P, Thomas CW, Gilmore GC, Wilson DL. Perceptual comparison of pulsed and continuous fluoroscopy. *Med Phys*. 1994;21:245–56.

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Julie Layly MD

Franck Marmouset MD

Guillaume Chassagnon MD, PhD

Philippe Bertrand MD

Dominique Sirinelli MD, PhD

Jean-Philippe Cottier MD, PhD

Baptiste Morel MD, PhD

Vu, le Directeur de Thèse

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

RESUME

Introduction : Les radiocinémas de déglutition (RCD) sont des examens d'imagerie couramment pratiqués pour explorer les troubles de déglutition, mais qui requièrent des rayonnements ionisants. Le but de notre étude était d'évaluer la comparabilité des RCD en pédiatrie à 15 images par secondes (ips) et 30 ips. **Matériel et Méthodes** : Cinquante-cinq boucles de RCD à 30 ips, comportant 190 déglutitions, réalisés chez 32 enfants consécutifs dans un centre hospitalier universitaire ont été rétrospectivement modifiées par un logiciel, retirant une image sur deux, pour obtenir de nouvelles boucles à une cadence de 15 ips. Un otorhinolaryngologiste-phoniatre, un radiologue junior et un radiologue sénior ont réinterprétés les déglutitions, en double aveugle et randomisées, utilisant l'échelle pénétration - aspiration (PAS). En cas de discordance, une interprétation consensuelle a été réalisée. **Résultats** : Quinze filles et dix-sept garçons ont été inclus. L'âge médian était de 4 ans 8 mois (intervalle 4 mois – 16 ans). 144 déglutitions étaient normales. Des troubles de déglutitions ont été confirmés sur 46 déglutitions (23 pénétrations sus-glottiques et 23 aspirations). Considérant chaque déglutition à 15 ips, la sensibilité et la spécificité étaient respectivement de 93% (CI=0.82-0.98) et 98% (CI=0.94-0.99). Le coefficient de Kappa entre chaque interprétation à 15 et à 30 ips étaient « presque parfait » ($\kappa=0.95$; CI=0.88-0.99). Considérant chaque boucle, les conclusions étaient identiques. **Conclusion** : Réduire la cadence à 15 ips pour les RCD en pédiatrie semble acceptable avec des performances diagnostiques comparables sans conséquences cliniques comparativement aux 30ips, tout en étant un moyen efficace pour réduire l'exposition aux rayonnements ionisants chez les enfants. Nous suggérons de reconsidérer la possibilité d'utiliser des RCD à 15ips dans la population pédiatrique.

**Thèse pour le Doctorat en Médecine – Diplôme d'état
DES de Radiodiagnostic et Imagerie Médicale**

Julie LAYLY, née le 11 juillet 1990

**Peut-on réduire à 15 images par seconde la cadence des radiocinémas de déglutition en
pédiatrie ?**

42 pages, 5 images

Résumé :

Introduction : Les radiocinémas de déglutition (RCD) sont des examens d'imagerie couramment pratiqués pour explorer les troubles de déglutition, mais qui requièrent des rayonnements ionisants. Le but de notre étude était d'évaluer la comparabilité des RCD en pédiatrie à 15 images par secondes (ips) et 30 ips. **Matériel et Méthodes :** Cinquante-cinq boucles de RCD à 30 ips, comportant 190 déglutitions, réalisés chez 32 enfants consécutifs dans un centre hospitalier universitaire ont été rétrospectivement modifiées par un logiciel, retirant une image sur deux, pour obtenir de nouvelles boucles à une cadence de 15 ips. Un otorhinolaryngologiste-phonaire, un radiologue junior et un radiologue sénior ont réinterprétés les déglutitions, en double aveugle et randomisées, utilisant l'échelle pénétration - aspiration (PAS). En cas de discordance, une interprétation consensuelle a été réalisée. **Résultats :** Quinze filles et dix-sept garçons ont été inclus. L'âge médian était de 4 ans 8 mois (intervalle 4 mois – 16 ans). 144 déglutitions étaient normales. Des troubles de déglutitions ont été confirmés sur 46 déglutitions (23 pénétrations sus-glottiques et 23 aspirations). Considérant chaque déglutition à 15 ips, la sensibilité et la spécificité étaient respectivement de 93% (CI=0.82-0.98) et 98% (CI=0.94-0.99). Le coefficient de Kappa entre chaque interprétation à 15 et à 30 ips étaient « presque parfait » ($\kappa=0.95$; CI=0.88-0.99). Considérant chaque boucle, les conclusions étaient identiques. **Conclusion :** Réduire la cadence à 15 ips pour les RCD en pédiatrie semble acceptable avec des performances diagnostiques comparables sans conséquences cliniques comparativement aux 30ips, tout en étant un moyen efficace pour réduire l'exposition aux rayonnements ionisants chez les enfants. Nous suggérons de reconsidérer la possibilité d'utiliser des RCD à 15ips dans la population pédiatrique.

Mots clés : déglutition - troubles de déglutition – dysphagie - radiocinéma de déglutition - enfant - radiologie pédiatrique - rayonnement ionisant - ALARA

Jury :

Président du Jury : Professeur Jean Philippe COTTIER
Directeur de thèse : Docteur Baptiste MOREL, MCU-PH
 Membres du Jury : Professeur Laurent BRUNEREAU
 Professeur Sylvain MORINIERE
 Docteur Franck MARMOUSET

Date de soutenance : 17 octobre 2019