

Réduire les hypersensibilités auditives dans les troubles du spectre autistique: résultats préliminaires de l'évaluation du protocole du projet d'écoute

[Stephen W. Porges](#) , ^{1,*} [Olga V. Bazhenova](#) , ² [Elgiz Bal](#) , ² [Nancy Carlson](#) , ³ [Yevgeniya Sorokin](#) , ² [Keri J. Heilman](#) , ¹ [Edwin H. Cook](#) , ² et [Gregory F. Lewis](#) ¹.

¹Department of Psychiatry, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, NC, USA

²Department of Psychiatry, Institute for Juvenile Research, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL, USA

³Department of Occupational Therapy, Elizabethtown College, Elizabethtown, PA, USA

Edited by: Roberto Canitano, University Hospital of Siena, Italy

Reviewed by: Hanna E. Stevens, Yale University School of Medicine, USA; Roberto Canitano, University Hospital of Siena, Italy

*Correspondence: Stephen W. Porges, Department of Psychiatry, University of North Carolina, 387 Medical School Wing D, Campus Box 7160, Chapel Hill, NC 27599-7160, USA e-mail: stephen_porges@med.unc.edu

This article was submitted to Child and Neurodevelopmental Psychiatry, a section of the journal Frontiers in Pediatrics.

Received 2014 Mar 20; Accepted 2014 Jul 16.

[Copyright](#) © 2014 Porges, Bazhenova, Bal, Carlson, Sorokin, Heilman, Cook and Lewis.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Abstrait

Les hypersensibilités auditives sont une caractéristique commune des troubles du spectre autistique (TSA). Dans la présente étude, l'efficacité d'une nouvelle intervention, le protocole de projet d'écoute (LPP), a été évaluée dans deux essais menés sur des enfants atteints de TSA. LPP a été développé pour réduire les hypersensibilités auditives. Le LPP est basé sur un modèle théorique «d'exercice neural» qui utilise une stimulation acoustique modifiée par ordinateur pour recruter la régulation neurale des muscles de l'oreille moyenne. Les caractéristiques des stimuli d'intervention reposent sur des recherches fondamentales en sciences de la parole et de l'audition, qui ont identifié les fréquences acoustiques spécifiques nécessaires à la compréhension de la parole, qui doivent passer par les structures de l'oreille moyenne avant d'être traitées par d'autres composants du système auditif. On a émis l'hypothèse que le LPP réduirait les hypersensibilités auditives en augmentant le tonus neural des muscles de l'oreille moyenne afin d'amortir de manière fonctionnelle les sons concurrents à des fréquences plus basses que la parole humaine. Les essais ont démontré que la LPP, comparée aux conditions de contrôle, réduisait sélectivement les hypersensibilités auditives. Ces résultats sont cohérents avec la théorie polyvagale, qui insiste sur le rôle des muscles de l'oreille moyenne dans la communication sociale.

Mots-clés: autisme, hypersensibilités auditives, comportements d'engagement social, écoute, théorie polyvagale

introduction

Accompagnant souvent un diagnostic de trouble du spectre autistique (TSA) sont la parole et les retards de langage, des difficultés à extraire la voix humaine de bruits de fond, hypersensibilités auditif, et un compromis général dans les compétences de communication sociale ([1 - 8](#)). Contrairement aux déclarations courantes de déficits de traitement auditif, la plupart des personnes atteintes de TSA, même celles présentant des troubles de la perception auditive visibles, ont une audition normale lorsqu'elles sont testées sur un audiogramme standard ([9](#)).

Plusieurs mécanismes ont été proposés comme contribuant aux déficits fréquemment signalés dans le traitement auditif, notamment des dommages ou un dysfonctionnement des structures périphériques (c.-à-d. Oreille moyenne et interne), des voies neurales (nerf auditif, par exemple) et des structures centrales (noyaux du tronc cérébral et corticales). zones) (par exemple, réf. ([10 - 17](#))). Une revue ([18](#)) suggère que, bien que des traitements auditifs atypiques et une hyperréactivité et une hyper-réactivité aux signaux auditifs soient fréquemment observés dans l'autisme, ces réactions atypiques ne peuvent pas être attribuées de manière fiable à des voies neuronales spécifiques. Les méthodes subjectives restent donc les seuls indicateurs d'hypersensibilité auditive ([19](#)).

Physiologie de l'oreille moyenne

Borg et Counter ([20](#)) ont décrit le rôle des muscles de l'oreille moyenne dans la facilitation de l'extraction de la parole humaine en atténuant la transmission du bruit de basse fréquence de l'environnement externe à l'oreille interne. Le modèle de Borg et Counter suggère que la régulation neurale atypique des muscles de l'oreille moyenne peut contribuer aux hypersensibilités auditives fréquemment observées et aux déficits de traitement auditif chez les TSA. Déconstruire le chemin par lequel le son est traité illustre le rôle que jouent les structures de l'oreille moyenne dans le traitement auditif et comment une régulation neurale atypique des muscles de l'oreille moyenne peut contribuer à des hypersensibilités auditives et à un traitement auditif atypique.

Le son pénètre dans l'oreille externe et traverse le conduit auditif externe jusqu'au tympan où il est transduit par les structures de l'oreille moyenne (petits os constituant la chaîne ossiculaire), qui relie le tympan à la cochlée. La rigidité de la chaîne ossiculaire détermine la rigidité du tympan. Les muscles de l'oreille moyenne, via les nerfs crâniens, régulent la position des osselets et raidissent ou desserrent le tympan. Lorsque le tympan est "resserré", des fréquences plus élevées sont absorbées et transmises à l'oreille interne et l'énergie des basses fréquences est atténuée (c'est-à-dire réfléchi) avant d'être codée par l'oreille interne (cochlée) et transmise via le nerf auditif (nerf crânien VIII) au cortex. Les voies ascendantes sont complétées par des voies descendantes qui régulent les muscles de l'oreille moyenne, qui déterminent fonctionnellement l'énergie (c'est-à-dire, atténuer, transmettre ou amplifier) de fréquences spécifiques qui atteignent l'oreille interne. Les caractéristiques décrivant la transformation de l'intensité sonore de l'oreille externe en oreille interne définissent la fonction de transfert de l'oreille moyenne. Si les informations acoustiques dans la bande de fréquences associée à la parole sont déformées par une fonction de transfert de l'oreille moyenne atypique, les informations codées par l'oreille interne puis transmises au cortex ne contiendront pas suffisamment d'informations pour permettre une détection précise des sons de la parole. En outre, il existe des voies descendantes qui régulent les cellules ciliées de la cochlée pour «ajuster» la perception auditive, ce qui est particulièrement important dans le développement des compétences linguistiques.

Comme proposé par Borg et Counter ([20](#)), une régulation centrale atypique des structures périphériques de l'oreille moyenne peut transmettre les sons de basse fréquence qui dominent le spectre acoustique de notre société mécanisée (systèmes de ventilation, circulation, avions, aspirateurs et autres appareils), ce qui entraîne une hypersensibilité aux sons et une distorsion ou «masquage» des composantes de fréquence associées à la parole humaine atteignant le cerveau. Cet accent mis sur le rôle fonctionnel des muscles de l'oreille moyenne dans l'atténuation des bruits de fond et l'extraction de la voix est basé sur une littérature documentant deux points: (1) la régulation neurale des muscles de l'oreille moyenne module la fonction de transfert de l'oreille moyenne ([21](#) , [22](#)) et (2) la fonction de transfert de l'oreille moyenne détermine l'énergie acoustique à partir des basses fréquences atteignant l'oreille interne ([23](#)). Ainsi, une fonction de transfert atypique de l'oreille moyenne serait une explication potentiellement parcimonieuse des hypersensibilités auditives et des difficultés de traitement auditif souvent associées à l'autisme.

Conception du protocole de projet d'écoute

Le protocole de projet d'écoute (LPP) constitue une rupture théorique par rapport aux disciplines fréquemment impliquées dans le traitement des troubles du traitement de l'audition, qui mettent l'accent sur le rôle des structures centrales dans le traitement de la parole (voir la référence (18)). La LPP a été théoriquement conçue pour réduire les hypersensibilités auditives en recrutant les fonctions anti-masquage des muscles de l'oreille moyenne afin d'optimiser la fonction de transfert de l'oreille moyenne pour le traitement de la parole humaine. Le LPP est basé sur un modèle «d'exercice» qui utilise une stimulation acoustique modifiée par ordinateur pour moduler la bande de fréquence transmise au participant. Les caractéristiques de fréquence de la stimulation acoustique ont été théoriquement sélectionnées en fonction de la bande de fréquence documentée et des poids associés à l'indice d'articulation (24) et indice d'intelligibilité de la parole (25). Ces indices soulignent l'importance relative de fréquences spécifiques dans la transmission de l'information incorporée dans la parole humaine. Pendant l'écoute normale de la parole humaine, via des mécanismes centraux descendants, les muscles de l'oreille moyenne se contractent et rigidifient la chaîne ossiculaire. Ce processus supprime de manière fonctionnelle la plupart des sons de fond de basse fréquence «masquants» de l'environnement acoustique et permet à la voix humaine d'être traitée plus efficacement par les structures cérébrales supérieures. Une modulation de l'énergie acoustique dans les fréquences de la voix humaine, similaire à une prosodie vocale exagérée, est supposée recruter et moduler la régulation neurale des muscles de l'oreille moyenne et réduire fonctionnellement les hypersensibilités auditives (voir Réf. (23).).

Les caractéristiques de l'intervention, y compris le contexte, la durée de la stimulation et la bande de fréquence sélectionnée, ont été déterminées théoriquement et reposent sur les principes neurophysiologiques suivants: (a) la fonction de transfert de l'oreille moyenne sert de mécanisme anti-masquage pour atténuer les basses fréquences les sons et pour faciliter l'extraction de la voix humaine des bruits de fond (20), b) l'énergie acoustique est facilement transmise par les structures de l'oreille moyenne, quel que soit le tonus neural transmis aux muscles de l'oreille moyenne, à une fréquence de résonance chez l'enfant comprise entre 800 et 1200 Hz (26), c) les muscles de l'oreille moyenne sont principalement composés de muscles à contraction rapide et sont vulnérables à la fatigue rapide (27), et d) la convergence phylogénétique chez les mammifères d'un tronc cérébral impliqué dans la régulation neurale des muscles striés du visage et de la tête, y compris les muscles de l'oreille moyenne (voir (23 , 28 , 29)). Les principes (a) et (b) ont été utilisés pour concevoir les stimuli acoustiques, le principe (c) des décisions éclairées relatives à la durée de chaque session, et le principe (d) a fourni la base du soutien social fourni pendant l'intervention la régulation neuronale des muscles de l'oreille moyenne est optimisée dans un contexte «sûr»).

LPP applique une musique vocale modifiée par un ordinateur (c.-à-d. Une musique filtrée) conçue pour exagérer les caractéristiques de la prosodie humaine et, de manière hypothétique, pour exercer la régulation neurale des muscles de l'oreille moyenne. En modulant la bande de fréquence associée aux vocalisations humaines, il a été émis l'hypothèse que les voies ascendantes fourniraient une information changeante de manière dynamique qui donnerait un retour d'information sur les voies descendantes régulant les muscles de l'oreille moyenne. Métaphoriquement, la procédure pourrait être conceptualisée comme un exercice de «tapis roulant» pour les muscles de l'oreille moyenne, durant laquelle les demandes d'écoute et de traitement des caractéristiques acoustiques des stimuli d'intervention évoluaient de manière dynamique. Pour tester l'hypothèse principale selon laquelle la condition musicale filtrée réduirait la sensibilité auditive chez les enfants atteints de TSA, deux essais ont été conduits.

L'intervention consistait en cinq séances quotidiennes d'environ 45 minutes au cours desquelles les participants écoutaient passivement la stimulation acoustique au casque dans une pièce calme, tandis que les chercheurs fournissaient un soutien social pour s'assurer que les participants restaient calmes. Les bandes de fréquences étaient modulées temporellement dans chaque session et, quelle que soit leur amplitude, la bande de fréquences modulée augmentait progressivement au cours des cinq sessions. Théoriquement, les bandes de fréquences changeantes ont été présentées pour augmenter la régulation neuronale des structures de l'oreille moyenne afin d'atténuer la perception des sons de basse fréquence de fond et de potentialiser l'extraction de la voix humaine. Bien que la régulation du muscle de l'oreille

moyenne n'ait pu être évaluée, le test de Borg et le compteur (20)) le modèle a fourni la base scientifique permettant de supposer que les exercices intégrés à la LPP réduiraient les hypersensibilités auditives.

Méthodes: Trial I et Trial II

Participants

Les participants potentiels ont contacté le laboratoire pour le dépistage initial de l'inclusion. Les cliniciens, les parents ayant déjà participé à notre programme de recherche et les présentations et / ou bulletins professionnels, ont informé les participants du projet de recherche. Les personnes chez lesquelles on soupçonnait un diagnostic de TSA et qui n'avaient pas d'antécédents de crises convulsives devaient subir une évaluation diagnostique consistant en une entrevue de diagnostic de l'autisme révisée (ADI-R) (30). L'ADI-R fournit un algorithme de diagnostic conforme au Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, quatrième édition (DSM-IV) (31) et à la Classification internationale des maladies, dixième édition (CIM-10) (32). Le consentement éclairé a été obtenu des parents. Le comité d'examen institutionnel de l'Université du Maryland, l'Université de l'Illinois à Chicago et l'Université de Caroline du Nord ont approuvé le projet. Les protocoles ne sont pas tenus de s'inscrire (par exemple, ClinicalTrials.gov), leur inscription ayant débuté avant le 1er janvier 2001 et la collecte de données achevée avant le 26 décembre 2007.

Les parents de 178 enfants ont contacté le laboratoire pour participer à la recherche. Sur la base des critères de l'ADI-R, 146 enfants remplissaient tous les critères de l'autisme. Parmi les enfants qui ne remplissaient pas tous les critères, 29 dépassaient la DJA-R, du moins les déficiences qualitatives des interactions sociales réciproques et / ou des échelles de communication. Trois enfants, qui ne respectaient pas les limitations qualitatives des interactions sociales réciproques et / ou des échelles de communication, ont été exclus de la recherche.

D'après la présentation au laboratoire, les 73 premiers enfants ont été affectés à l'essai I. Dans l'essai I, les données de neuf enfants (deux dans la musique filtrée et sept dans les groupes avec casque uniquement) ont été perdues en raison de problèmes techniques. Dans l'essai I, les données du questionnaire ont été notées pour 36 enfants du groupe de musique filtrée et 28 enfants du groupe du casque uniquement. À la fin de l'essai I, 102 enfants qui n'avaient pas participé à l'essai I ont été inscrits à l'essai II. Dans l'essai II, en raison de problèmes d'horaire, les familles de six enfants se sont retirées avant de participer à l'essai et une famille s'est retirée après le deuxième jour de l'intervention. Dans l'essai II, les données d'un enfant diagnostiqué avec X fragile ont été exclues des analyses de données. En outre, les données de 12 enfants du groupe de musique filtrée ont été perdues parce que les parents n'avaient pas retourné les questionnaires ou en retard, ou en raison de problèmes de santé. Les données ne sont pas disponibles pour documenter les causes spécifiques du manque de conformité. Les données du questionnaire de l'essai II étaient disponibles pour 50 participants du groupe de musique filtrée et 32 participants pour le groupe de musique non filtrée. Les statistiques descriptives des caractéristiques démographiques des sujets des essais I et II avec les données du questionnaire sont rapportées dans le [tableau 1](#).

Tableau 1

Informations démographiques pour les sujets avec des données complètes par groupe et par sexe .

	Trial I		Trial II	
	Musique filtrée	Casque seulement condition	Musique filtrée	Musique non filtrée
	Âge moyen (SD) ^b	Âge moyen (SD) ^b	Âge moyen (SD) ^b	Âge moyen (SD) ^b
Satisfait aux critères au moins partiels sur ADI-R^a				
Mâle	58,24 (10,14), <i>n</i> = 25	49,46 (10,96), <i>n</i> = 23	54,89 (14,83), <i>n</i> = 44	56,20 (9,36), <i>n</i> = 27
Femme ^c	48,67 (11,99), <i>n</i> = 11	61,00 (7,91), <i>n</i> = 5	44 (20,66), <i>n</i> = 6	60,33 (9,29), <i>n</i> = 5
Total	55,37 (11,42), <i>n</i> = 36	52,67 (11h30), <i>n</i> = 28	53,33 (15,95), <i>n</i> = 50	56,74 (9,25), <i>n</i> = 32

[Ouvrir dans une fenêtre séparée](#)

^a *A dépassé l'ADI-R, coupez au moins les altérations qualitatives des interactions sociales réciproques et / ou des échelles de communication .*

^b *Âge moyen et écart type en mois .*

^c *Les femmes en procès I étaient significativement plus âgées dans le groupe des casques uniquement .*

Essai I et II de première instance a inclus 86 participants à la condition de la musique filtrée, 32 participants à la condition de la musique non filtrée, et 28 participants aux écouteurs seule condition (voir le tableau 1) Bien que l'âge mental des participants n'ait pas été formellement évalué, tous les participants avaient soit la parole (au moins cinq mots autres que «maman» et «dada», utilisés spontanément et significativement), soit suivis d'instructions verbales. Environ 80% des participants étaient de race blanche et les 20% restants comprenaient des enfants de parents afro-américains, latinos et asiatiques.

Conception expérimentale

La recherche de l'intervention a été menée sous forme de deux essais contrôlés randomisés séquentiels avec des groupes de contrôle parallèles. Tous les participants ont été assignés au hasard de manière séquentielle, par présentation au laboratoire, au groupe de musique filtrée ou à un groupe de conditions de contrôle. Aucune caractéristique clinique ou comportementale n'a été utilisée pour déterminer l'assignation de groupe. Les participants à l'essai I ont été assignés au hasard à un groupe de musique filtrée ou à un casque uniquement, composé d'enfants portant des écouteurs sans musique.

L'essai I a été initié pour évaluer si l'intervention avait un effet allant au-delà des variables contextuelles du jeu de soutien et des interactions sociales de faible intensité qui caractérisaient l'environnement expérimental pour les deux groupes. Les analyses de données des questionnaires parentaux indiquant un effet de traitement sur les hypersensibilités auditives, l'essai II a été conduit pour évaluer si le filtrage de la musique déterminait uniquement les effets d'intervention. Les

participants à l'essai II ont été assignés au hasard à un groupe de musique filtré ou à un groupe de musique non filtré. Pour assurer une taille d'échantillon suffisante pour tester les hypothèses liées aux hypersensibilités auditives, deux fois plus de participants ont été affectés au groupe de musique filtrée.

Les parents n'étaient pas informés de l'affectation de groupe de leur enfant jusqu'à la fin des séances de suivi. Les parents n'étaient pas non plus informés des caractéristiques de l'intervention (musique filtrée) ou des conditions de contrôle de chaque essai (écouteurs uniquement dans Trial I et musique non filtrée dans Trial II). Les écouteurs Circumaural ont été utilisés car ils fournissent une excellente qualité sonore, sont confortables à porter et offrent une excellente réjection des bruits extérieurs. Les caractéristiques du casque, associées à des stimuli auditifs de faible intensité, empêchaient les parents de détecter si leur enfant recevait la condition de musique filtrée ou une condition de contrôle. D'après nos interactions avec les parents, il est apparu que les parents n'étaient pas informés de l'affectation de groupe de leurs enfants. Après l'achèvement des séances d'évaluation de suivi, les enfants dans le non filtré et les conditions de casque seulement ont eu la possibilité de recevoir la musique filtrée. Sachant que le fait de connaître une affectation de groupe peut fausser les perceptions parentales du comportement de l'enfant, les données des enfants qui ont reçu la musique filtrée après avoir participé au casque uniquement ou dans des conditions de musique non filtrée n'ont pas été incluses dans les analyses de données.

Une semaine après l'intervention, les rapports des parents ont été obtenus pour tous les participants aux deux essais. Aucun des enfants qui ont participé au procès I n'a participé au procès II. En plus du questionnaire destiné aux parents, des séances d'évaluation comportementale semi-structurées basées sur le jeu ont été organisées avec les enfants et enregistrées sur vidéo avant et après l'intervention.

Conditions et procédure

Chaque condition (c.-à-d. La musique filtrée, la musique non filtrée et les conditions réservées aux casques d'écoute uniquement) consistait en des sessions d'environ 45 minutes conduites pendant cinq jours consécutifs. Au cours de l'intervention, indépendamment de l'affectation du groupe, chaque enfant portait un casque dans le même environnement de laboratoire. Les mêmes sélections de musique vocale ont été utilisées à la fois pour la musique filtrée et les conditions de musique non filtrée. Dans les conditions de musique filtrée, la musique vocale était traitée par ordinateur sur la base d'un algorithme propriétaire développé pour éliminer les basses et les hautes fréquences et pour moduler la largeur de la bande de fréquences associée à la voix humaine. Les stimuli d'intervention ont été stockés sur des disques compacts et lus via un lecteur de disque compact de haute qualité (Marantz CC-4000) pour obtenir un casque de haute qualité sur l'oreille (Beyerdynamic DT831). La sonie maximale a été calibrée à un maximum de 75 dBC avant le début de l'intervention. Lors de la seule condition du casque, aucune stimulation auditive n'était fournie, bien que le contexte soit identique à celui de la musique filtrée et des conditions de musique non filtrée. Le faible volume des stimuli d'intervention et l'utilisation de casques d'écoute sur l'oreille ont assuré que les stimuli d'intervention ne pouvaient pas être distingués des sons ambiants de fond dans la salle de test par les parents.

Les séances se sont déroulées dans une salle de recherche avec des jouets (livres, maison de poupée et accessoires, garage et voitures, cuisine et accessoires, animaux en peluche, livres à colorier et crayons de couleur). Pendant l'intervention, les enfants ont pu jouer librement avec les jouets. Un expérimentateur est resté dans la salle pendant l'intervention pour aider l'enfant avec le casque si nécessaire. Les parents ont également été autorisés à être dans la chambre avec leur enfant. L'expérimentateur et les parents ont été priés de rester calmes et d'interagir avec l'enfant uniquement afin de maintenir et de maintenir un état de comportement calme. En raison de la nature de l'étude (par exemple, la vérification de l'intégrité des écouteurs), l'expérimentateur qui a dirigé la séance d'intervention n'a pas toujours été aveugle au devoir de groupe de l'enfant. En première instance, étant donné que le groupe de casques seulement recevait des casques sans son, l'expérimentateur était souvent au courant du devoir de groupe de l'enfant. Cependant, puisque seul l'expérimentateur a ajusté le casque, les parents sont restés aveugles. Dans l'essai II, étant donné que la stimulation acoustique était présentée aux deux groupes, l'expérimentateur et le parent n'étaient pas au courant de l'affectation du groupe à l'enfant. En conséquence, afin d'éviter toute possibilité de biais de classement, l'expérimentateur qui a dirigé les séances d'intervention n'a pas participé aux évaluations basées sur le

jeu au cours desquelles les comportements de partage ont été codés. l'expérimentateur et le parent n'étaient pas au courant de l'affectation du groupe à l'enfant. En conséquence, afin d'éviter toute possibilité de biais de classement, l'expérimentateur qui a dirigé les séances d'intervention n'a pas participé aux évaluations basées sur le jeu au cours desquelles les comportements de partage ont été codés. l'expérimentateur et le parent n'étaient pas au courant de l'affectation du groupe à l'enfant. En conséquence, afin d'éviter toute possibilité de biais de classement, l'expérimentateur qui a dirigé les séances d'intervention n'a pas participé aux évaluations basées sur le jeu au cours desquelles les comportements de partage ont été codés.

Évaluation comportementale

Questionnaire parent Après l'intervention et les évaluations basées sur le jeu, les parents ont reçu un questionnaire structuré développé dans notre laboratoire, ciblant des catégories spécifiques de problèmes de développement et de comportement de leur enfant, y compris des hypersensibilités auditives. Les parents des enfants de tous les groupes ont été priés de remplir et de renvoyer le questionnaire au laboratoire en une semaine. Le questionnaire visait à déterminer si l'enfant avait des difficultés dans un domaine comportemental spécifique et s'il y avait eu des changements dans ce domaine suite à la participation à la recherche. Pour chaque catégorie de comportement, les parents étaient tenus de documenter les changements éventuels intervenus après l'intervention en fournissant des exemples spécifiques des nouveaux comportements observés. Le questionnaire structuré axé sur les domaines de comportement énumérés dans le tableau [2](#).

Tableau 2

Domaines comportementaux et explications du questionnaire parent structuré .

Définitions	
Sensibilité auditive	Réponses négatives exagérées (p. Ex. Pleurer ou placer les mains sur les oreilles) aux bruits courants (p. Ex. Aspirateur, élimination des ordures ménagères, pleurs de bébé et climatisation)
Discours spontané	Utilisation non motivée de mots et de phrases pour communiquer des pensées et des idées
Discours réceptif	Capacité à comprendre des instructions et des phrases
Spontanéité	Comportements non sollicités initiés par l'enfant
Organisation comportementale	Capacité à s'occuper (laissé seul) d'une manière productive et non stéréotypée
Contrôle émotionnel	Capacité à se calmer rapidement lorsqu'il est contrarié, à réagir aux changements inattendus sans se fâcher et à tolérer les objections et les contradictions des autres
Affection	Comportements reflétant l'état émotionnel chaleureux exprimé par l'enfant envers des personnes familières (par exemple, étreindre, embrasser et dire «je t'aime» au parent)
Écoute	Capacité à se concentrer sur la parole humaine sans signaux visuels ou contextuels, à comprendre les mots parlés et à suivre les demandes verbales
Lentilles de contact	Établir et maintenir un contact visuel lors des interactions sociales
La parenté	Comportements sociaux non motivés qui reflètent la compréhension d'un partenariat commun dans des interactions et partageant les mêmes objectifs lors des interactions sociales (par exemple, regarder un partenaire, montrer des jouets, partager une idée ou une pensée et diriger ses émotions vers le partenaire)

[Ouvrir dans une fenêtre séparée](#)

Questionnaire de notation Chacun des éléments décrits 10 représentant les domaines du comportement dans le tableau 2a été marqué comme 1, 0 ou -1. Une note de 1 était attribuée si les parents indiquaient que leur enfant avait un problème dans la zone d'intérêt avant la participation au projet et donnait l'exemple d'un nouveau comportement pouvant être considéré comme une amélioration dans cette zone. Un élément a reçu un score de 0 si les parents ont indiqué que leur enfant avait un problème dans la zone d'intérêt, mais n'ont fourni aucun exemple de changement. Les réponses parentales non spécifiques (par exemple, «un peu mieux» et «beaucoup mieux») qui n'étaient pas étayées par des exemples concrets des nouveaux comportements ont également été notées de manière conservatrice à 0. Un élément a reçu un score de -1 si le parent a indiqué que le comportement s'est aggravé après la participation à la recherche et a fourni un exemple du nouveau comportement aggravé. Si le parent n'a pas indiqué de problème dans la zone d'intérêt, l'élément n'a pas reçu de score. Chaque questionnaire a été évalué par deux chercheurs, dont au moins un était aveugle au devoir de groupe de l'enfant. Uniquement lorsque les deux correcteurs ont convenu que l'exemple fourni par le parent constituait un comportement nouveau et pertinent, un score de 1 a été attribué. Les scores -1 étaient rares et n'apparaissaient sur aucun des comportements codés dans l'essai I et seulement trois fois dans l'essai II. Ainsi, des analyses séparées pour les scores de -1 n'ont pas été effectuées.

Échelle de codage des interactions sociales Avant et après leur participation au projet d'intervention, tous les enfants ont participé à une évaluation observationnelle semi-structurée de 10 min des compétences d'engagement social basée sur le jeu avec l'échelle de codage de l'interaction sociale

(SICS) (33). Le SICS fournit des informations sur l'activité d'engagement social de l'enfant. Semblable à l'échelle ADOS (Autism Diagnost Observation Scale) (34) et aux premières échelles de codage de la communication sociale (ESCS) (35), la SICS requiert une présentation semi-structurée de tâches standard. Chaque tâche offre une possibilité d'engagement social en obligeant l'enfant à participer à une activité commune. Dans la présente étude, le nombre de comportements de partage spontané a été quantifié.

Codage de l'échelle de codage des interactions sociales La fréquence de partage des comportements a été codée à partir de bandes vidéo par des codeurs formés. Les codeurs ont obtenu une fiabilité mutuelle sur les bandes d'entraînement avant d'utiliser l'échelle à des fins de recherche (c'est-à-dire un accord de 80% sur les éléments individuels, un kappa moyen > 0,60 pour trois évaluations conjointes consécutives). Chaque bande a été codée par deux codeurs formés indépendamment et comparée aux fins d'accord. Au moins un des codeurs n'était pas au courant de l'affectation de groupe du participant lors du codage. Un consensus a été utilisé pour établir le code final. Si les évaluateurs étaient en désaccord sur le même article, le code du codeur non biaisé était enregistré. Si les codeurs n'étaient pas certains du code final, l'avis du troisième codeur formé était demandé et le code ayant recueilli le consensus d'au moins deux codeurs était enregistré. Si les trois codeurs n'étaient pas d'accord sur le code final, le comportement n'était pas codé.

Analyses de données

Des analyses de variance et des analyses non paramétriques de ² ont été utilisées pour évaluer les différences entre les groupes au sein de chaque essai sur chacun des domaines comportementaux. Puisque les deux stratégies d'analyse ont identifié les mêmes différences de groupe au sein de chaque essai, seules les analyses de variance sont présentées. Une correction de Bonferroni a ajusté les niveaux de signification pour de multiples comparaisons.

Résultats

Données du questionnaire

Evaluation globale des problèmes Confirmant l'efficacité des procédures de randomisation, il n'y avait pas de différences de groupe dans la représentation des problèmes de comportement signalés par le questionnaire parental dans chaque essai ou à travers les essais (voir le tableau 3) Par exemple, la représentation des hypersensibilités auditives dans les quatre groupes dans les deux essais variait de 43 à 50%. Lorsque le nombre de dimensions du problème a été additionné pour chaque participant, plus de 95% des parents ont déclaré que leur enfant avait au moins un problème de comportement. Le pourcentage de parents signalant de multiples problèmes de comportement diminuait avec l'augmentation du nombre de domaines. Environ 80% des parents signalaient des problèmes dans au moins cinq domaines comportementaux.

Tableau 3

Répartition des problèmes de comportement initiaux (%) dans chaque essai ^a.

	Trial I		Trial II	
	Musique filtrée (%)	Groupe d'écouteurs seulement (%)	Musique filtrée (%)	Musique non filtrée (%)
Sensibilité auditive	50	43	46	50
Affecter	44	61	64	59
Lentilles de contact	75	61	60	63
Organisation comportementale	53	57	56	53
Contrôle émotionnel	50	43	66	59
Discours spontané	75	82	82	78
Discours réceptif	72	82	90	81
Écoute	81	86	74	66
Spontanéité	69	71	44	44
La parenté	83	82	64	66
Au moins 1 problème	92	96	98	97
Au moins 2 problèmes	92	93	98	94
Au moins 3 problèmes	89	89	96	91
Au moins 4 problèmes	83	79	94	88
Au moins 5 problèmes	81	75	92	78

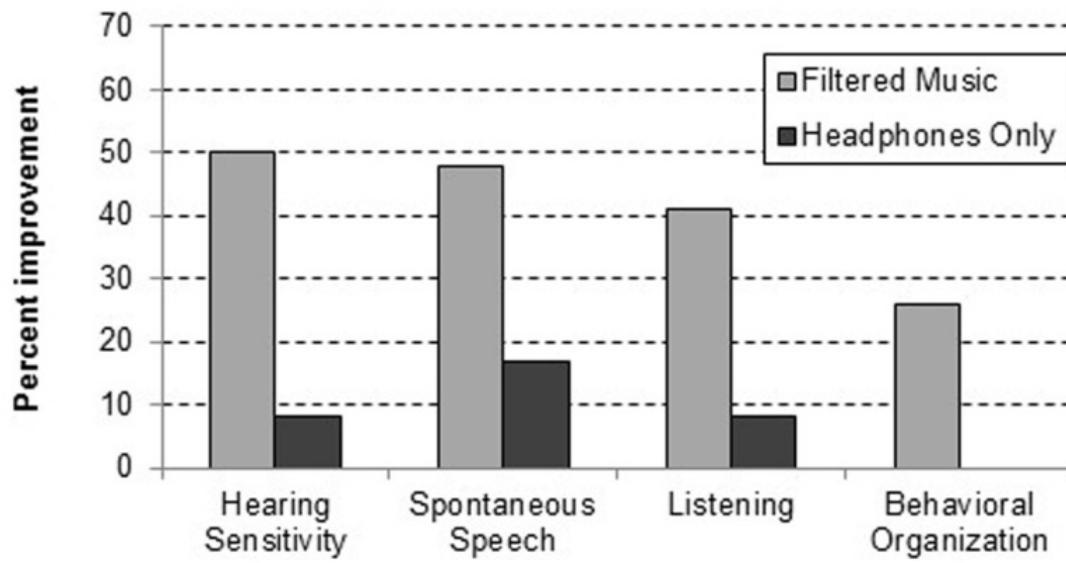
[Ouvrir dans une fenêtre séparée](#)

^a Aucune différence significative n'a été trouvée entre les groupes sur aucune dimension comportementale.

Essai I: évaluation globale et spécifique de l'amélioration

Pour évaluer l'efficacité du traitement musical filtré, les différences de groupe ont été évaluées à l'aide d'analyses de variance pour chacune des 10 dimensions comportementales incluses dans le questionnaire. Comme cela est illustré sur la figure 1, des améliorations significatives par rapport au casque seul groupe, ont été observées dans le groupe de musique filtrée dans la sensibilité auditive, $F(1, 29) = 6,46, p = 0,017$; parole spontanée, $F(1, 49) = 5,61, p = 0,022$; écoute, $F(1, 52) = 8,25, p = 0,006$; et organisation du comportement, $F(1, 34) = 5,39, p = 0,027$. Le pour cent des participants améliorés, qui ont eu un problème au sein de chaque domaine, est présenté dans le tableau 4. Une semaine après l'intervention, l'analyse de variance a confirmé que le groupe de musique filtrée présentait nettement plus d'améliorations totales que le groupe uniquement d'écouteurs (2,36 contre 0,81), $F(1, 62) = 7,76, p = 0,007$.

TRIAL I



[Figure 1](#)

L' amélioration du comportement à l'évaluation après traitement 1 semaine en première instance I .
Les données sont rapportées comme la référence des participants ayant un problème de comportement spécifique qui se sont améliorés.

Tableau 4

Pour cent ^{une} amélioration qui a eu un problème au sein de chaque domaine du comportement au suivi de 1 semaine .

	Trial I		Trial II	
	Musique filtrée	Casque seulement	Musique filtrée	Musique non filtrée
Sensibilité auditive	50^b , <i>n</i> = 18	8, <i>n</i> = 12	43^c , <i>n</i> = 23	13, <i>n</i> = 16
Affecter	19, <i>n</i> = 16	18, <i>n</i> = 17	25, <i>n</i> = 32	21, <i>n</i> = 19
Lentilles de contact	41, <i>n</i> = 27	24, <i>n</i> = 17	33, <i>n</i> = 30	40, <i>n</i> = 20
Organisation comportementale	26^b , <i>n</i> = 19	0, <i>n</i> = 16	29, <i>n</i> = 28	18, <i>n</i> = 17
Contrôle émotionnel	17, <i>n</i> = 18	0, <i>n</i> = 12	24^c , <i>n</i> = 33	0, <i>n</i> = 19
Discours spontané	48^b , <i>n</i> = 27	17, <i>n</i> = 23	51, <i>n</i> = 41	44, <i>n</i> = 25
Discours réceptif	31, <i>n</i> = 26	9, <i>n</i> = 23	9, <i>n</i> = 45	15, <i>n</i> = 26
Écoute	41^b , <i>n</i> = 29	8, <i>n</i> = 24	30, <i>n</i> = 37	29, <i>n</i> = 21
Spontanéité	48, <i>n</i> = 25	20, <i>n</i> = 20	36, <i>n</i> = 22	36, <i>n</i> = 14
La parenté	30, <i>n</i> = 30	13, <i>n</i> = 23	34, <i>n</i> = 32	29, <i>n</i> = 21

[Ouvrir dans une fenêtre séparée](#)

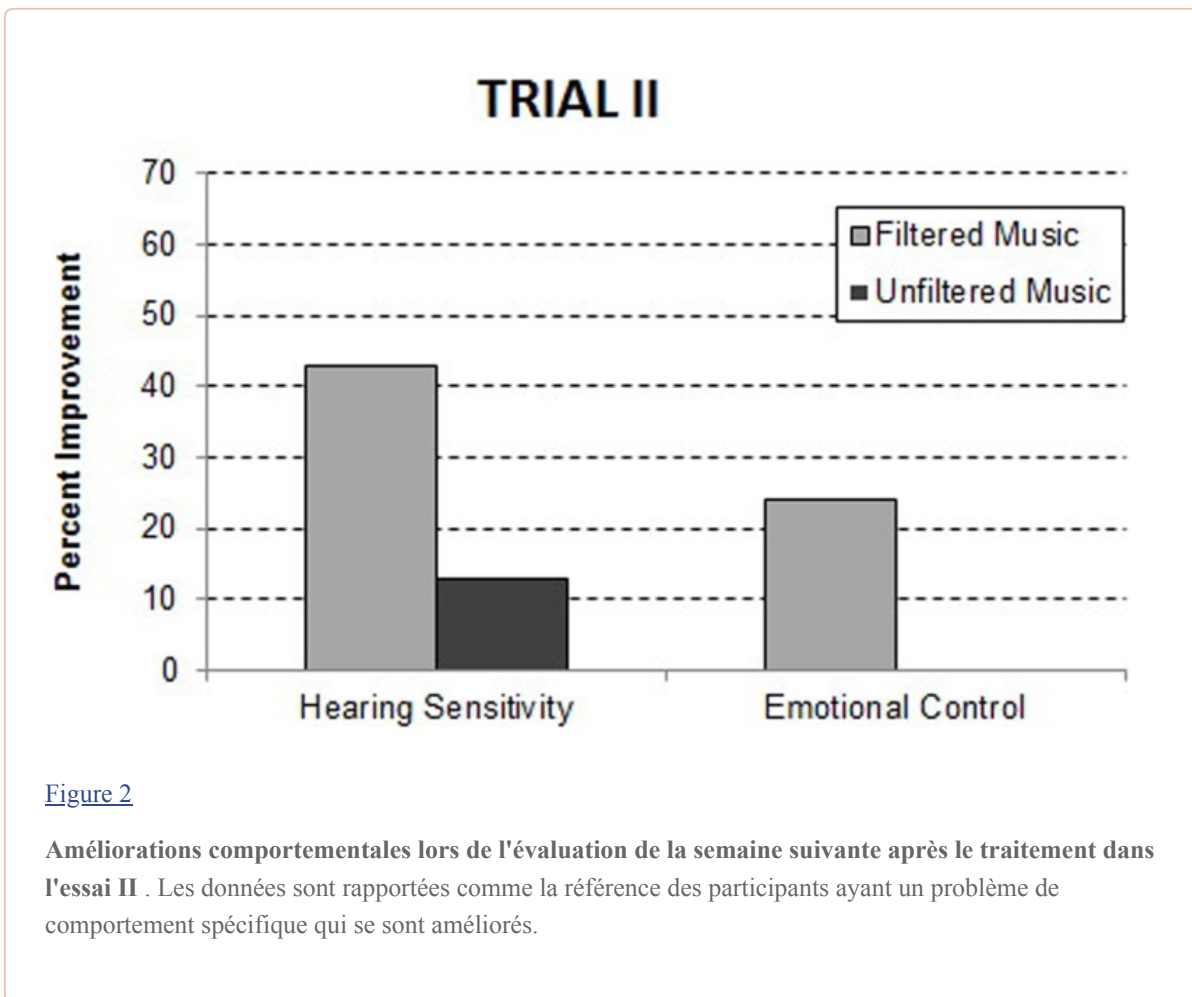
^a Défini par le nombre d'individus améliorés divisé par le nombre d'individus ayant des problèmes (*n*) dans le domaine comportemental.

^b Une amélioration significative rapport au casque que dans essai I.

^c Amélioration significative par rapport à la musique non filtrée dans Trial II.

Essai II: évaluation globale et spécifique de l'amélioration

Étant donné que les avantages relatifs observés au cours de Trial I pouvaient être attribués à l'écoute de musique, indépendamment de la modulation informatique des caractéristiques acoustiques, Trial II a été mis en œuvre pour comparer les conditions de la musique filtrée à la même musique sous une forme non filtrée. La condition musicale non filtrée était similaire à la condition «d'écoute structurée» décrite par Bettison (36). Comme illustré sur la Figure 2, des améliorations significatives dans la condition de musique filtrée par rapport à la condition de musique non filtrée ont été observées à la fois dans la sensibilité auditive, $F(1, 28) = 4,53, p = 0,040$, et le contrôle des émotions, $F(1, 49) = 5,84, p = 0,019$. Le pour cent des participants améliorés, qui ont eu un problème au sein de chaque domaine, est présenté dans le tableau 4. Notez que lorsque la musique non filtrée est utilisée comme contrôle, plusieurs des avantages de la condition de musique filtrée observée dans Trial I (par exemple, parole spontanée, écoute et organisation comportementale) semblent être dus à l'écoute de musique (par exemple, musique non filtrée) et pas à l'algorithme utilisé pour filtrer la musique. Conformément à cette interprétation, il n'y avait pas de différence significative dans la somme des améliorations pour le groupe de musique filtrée (1,98) par rapport au groupe de musique non filtrée (1,53). Ces données suggèrent que l'avantage unique de la musique filtrée est une réduction significative de la sensibilité auditive.



Contrastes entre Trial I et Trial II

Les analyses de variance ont confirmé la similitude entre les conditions musicales filtrées dans Trial I et Trial II. Le pour cent des participants l'amélioration de chaque domaine était similaire pour les groupes de musique filtrés dans de première instance I et II de première instance (voir le tableau 4). De même, le nombre de domaines de problème est similaire pour tous les groupes à l'entrée dans le protocole (voir le tableau 3).

Partage de comportements

Les données vidéo d'un sous-échantillon aléatoire d'enfants dans la condition de musique filtrée ($n = 61$) ont été codées. Le sous-échantillon a été divisé en trois groupes: les enfants qui n'avaient pas de sensibilité auditive au début de l'étude ($n = 34$), les enfants qui ont montré une amélioration de la sensibilité auditive après l'intervention ($n = 14$) et les enfants qui n'avaient aucune amélioration de leur audition. sensibilité après l'intervention ($n = 13$). Une analyse de la variance avec mesures répétées a identifié une interaction groupe \times condition significative, $F(2, 58) = 4,88, p < 0,011$. Conformément aux rapports des parents, seul le sous-groupe d'enfants présentant une amélioration de la sensibilité auditive a augmenté la quantité de comportement de partage pendant le protocole basé sur le jeu semi-structuré de 10 minutes. Les statistiques descriptives sont présentées dans le tableau 5. L'ajustement *post-hoc* de Bonferroni a confirmé que seuls les enfants dont on avait rapporté une amélioration de la sensibilité auditive augmentaient le comportement de partage pendant le protocole de jeu semi-structuré de 10 minutes suivant le programme de 5 jours par rapport à l'évaluation initiale ($p < 0,005$).

Tableau 5

Sensibilité auditive (HS) et nombre total d'actions (*N* , moyenne et écart type) .

	<i>N</i>	Pré-intervention		Post-intervention	
		Signifier	Dakota du Sud	Signifier	Dakota du Sud
Enfants qui ont amélioré leur SH	14	5,71	7.31	9.86	10.53
Enfants qui n'ont pas amélioré leur HS	13	7,46	7.33	7,62	6.74
Enfants n'ayant pas de SH	34	5,82	8,50	6,32	7,97

Effets du traitement sur les participants sans sensibilité auditive

Pour étudier les effets de la musique filtrée sur les participants sans sensibilité auditive, des analyses de variance ont été calculées sur chaque domaine comportemental afin d'identifier les domaines comportementaux susceptibles de s'améliorer chez les enfants sans hypersensibilité auditive en fonction de la musique filtrée. Ces analyses n'ont pas identifié de domaine comportemental spécifique susceptible de s'améliorer de manière fiable chez les enfants sans hypersensibilité auditive.

Discussion

Résumé des résultats et autres recherches évaluant le PPL

Deux essais contrôlés randomisés ont été menés pour évaluer l'efficacité de la LPP sur les hypersensibilités auditives et le comportement social chez les enfants atteints de TSA. Les données des deux essais ont confirmé que le LPP (musique filtrée) réduisait sélectivement les hypersensibilités auditives. Essai, j'ai comparé la musique filtrée avec un casque uniquement. Les résultats de Trial I ont conduit à un Trial II plus strict dans lequel la musique filtrée était opposée à une condition musicale non filtrée. Dans les deux essais, le LPP a réduit sélectivement les hypersensibilités auditives. De plus, au sein des groupes de musique filtrés, les enfants présentant une hypersensibilité auditive qui se sont améliorés après LPP ont considérablement accru leurs comportements de partage spontané. Ces résultats, compatibles avec la théorie polyvagale,

Les résultats actuels concordent avec ceux d'une étude précédente ([37](#)) évaluant le LPP avec un échantillon plus diversifié d'enfants atteints de TSA. Dans l'étude précédente, l'efficacité du LPP était évaluée objectivement en évaluant le traitement auditif (supposé être une fonction de la fonction de transfert des structures de l'oreille moyenne) et l'état autonome (censé régir la régulation de l'état comportemental). L'étude a démontré que la LPP augmentait de manière significative la régulation vagale du coeur (amplitude accrue de l'arythmie du sinus respiratoire) et le traitement auditif normalisé sur les mots filtrés et les sous-tests de mots en compétition du test SCAN pour trouble du traitement auditif ([38](#) , [39](#)). Collectivement, les données des essais en cours et de Porges et al. ([37](#)) fournissent un support préliminaire convergent permettant au LPP d'améliorer le fonctionnement du «système d'engagement social» polyvagale se manifestant par une amélioration du traitement auditif, une réduction des hypersensibilités auditives, une régulation accrue du coeur et des comportements sociaux spontanés (par exemple, le partage).

Contrastes avec les thérapies d'intervention auditive traditionnelles

Étant donné que LPP fournit des stimuli acoustiques modifiés par ordinateur au casque, il partage certaines des caractéristiques des thérapies d'intervention auditive (c.-à-d. AIT). Cependant, bien que la LPP soit une «thérapie par le son», elle n'est pas un ACI disponible cliniquement (par exemple, réf. ([40](#) , [41](#))) et diffère de ces procédures en termes de méthode et de théorie. Premièrement, le LPP est

basé sur la théorie polyvagale et reflète une tentative stratégique d'engager une régulation neuronale de structures spécifiques impliquées dans le système d'engagement social ([28](#)). Deuxièmement, LPP se concentre sur les hypersensibilités auditives pouvant être exprimées par des individus avec ou sans diagnostic clinique. Troisièmement, l'efficacité du LPP peut être mesurée à l'aide de caractéristiques comportementales et physiologiques bien définies du système d'engagement social. Quatrièmement, le LPP a été conçu avec plusieurs caractéristiques uniques pour engager et exercer la régulation neurale des muscles de l'oreille moyenne, comprenant une compréhension de la fonction de transfert des structures de l'oreille moyenne et la vulnérabilité des muscles de l'oreille moyenne à contraction rapide. Cinquièmement, la durée de la LPP est plus courte (moins de 5 heures) par rapport à la plupart des formes d'ACI. Par conséquent, les effets de la LPP décrits dans cette étude ne doivent pas être généralisés à une autre forme d'intervention auditive.

Il existe plusieurs problèmes liés à l'évaluation des thérapies classiques d'intervention auditive. Premièrement, puisque les interventions ont évolué à partir d'observations et de connaissances cliniques, la théorie neurophysiologique sous-jacente aux interventions n'est souvent ni bien développée ni testée. Deuxièmement, les recherches ont souvent été structurées de manière à poser des questions d'efficacité au lieu de développer des protocoles pour tester des composants du traitement théoriquement pertinents afin de comprendre les mécanismes et d'affiner la méthodologie. Troisièmement, étant donné que les interventions auditives sont appliquées dans un contexte clinique, plusieurs paramètres de conception expérimentale sont difficiles à contrôler, notamment (1) un protocole constant, (2) la limitation des traitements concurrents, y compris la médication, (3) la randomisation des participants dans des conditions, et (4) la sélection des variables de résultat qui sont théoriquement pertinentes pour le modèle d'intervention. Le principal facteur limitant est peut-être le large éventail de domaines que les interventions auditives sont proposées pour améliorer sans description d'un lien de causalité à travers lequel l'intervention entraînerait des changements fonctionnels du comportement. En raison, en partie, des limites susmentionnées, la littérature documentant une efficacité pour les formes d'ACI disponibles sur le plan clinique a été difficile à interpréter.

Certaines études évaluant l'efficacité de l'AIT font état d'améliorations ([42](#) , [43](#)), d'autres pas ([36](#) , [44](#) - [47](#)). Cependant, certaines des études ci-dessus qui ne soutiennent pas les effets positifs uniques de l'ACI fournissent une documentation des effets positifs. Par exemple, Bettison ([36](#)) fait état d'effets positifs à la fois dans le groupe expérimental (formation auditive reçue) et dans le groupe témoin (écoute de la même musique non modifiée dans les mêmes conditions). Bettison suggère, conformément à nos conclusions, que les fonctionnalités de l'ACI partagées avec l'écoute de musique sélectionnée non modifiée peuvent avoir des effets bénéfiques sur les enfants autistes. De plus, comme nos données le suggèrent, si les participants ne présentent pas d'hypersensibilité auditive, les effets de la LPP peuvent être médiés par différentes voies biocomportementales avec des résultats positifs imprévisibles (c'est-à-dire non spécifiques), qui ne sont pas compatibles avec le modèle de fonction de transfert de l'oreille moyenne. . Peut-être que, similaires aux résultats obtenus chez des enfants sans hypersensibilité auditive dans les essais LPP,

Gilmor ([48](#)) a mené une méta-analyse basée sur plusieurs études menées dans les années 1980 avec la méthode Tomatis chez 231 enfants. Gilmor a regroupé les mesures de résultats en cinq domaines comportementaux et a identifié de petits effets sur les domaines linguistique, psychomoteur, d'adaptation personnelle et sociale et cognitif. Fait intéressant, il n'a trouvé aucun effet fiable dans le domaine auditif. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence car les études étaient limitées par la petite taille des échantillons, les problèmes liés à la définition des conditions de contrôle et l'utilisation limitée de l'assignation aléatoire. Indépendamment de ces limitations, les parents et les cliniciens d'enfants atteints de TSA ont indiqué que les formes de traitement auditif avaient été utiles.

Limites de l'étude en cours

Les données de la présente étude doivent être interprétées avec prudence pour les raisons exposées ci-dessous.

1. Les principales conclusions dépendaient des rapports subjectifs des parents.

2. Certaines des hypothèses testées dépendaient de la petite taille des sous-groupes critiques (par exemple, les individus avec ou sans hypersensibilité auditive qui ont présenté ou non des améliorations partagées en fonction des différentes conditions de traitement).
3. Les participants recevaient d'autres traitements au cours de la période d'intervention et d'évaluation. Plusieurs participants recevaient des interventions quotidiennes faisant appel à des approches comportementales et à d'autres thérapies, susceptibles d'améliorer ou d'atténuer les effets du LPP.
4. Des contacts fréquents des parents avec des thérapeutes pourraient biaiser les rapports des parents et compromettre la validité des parents en tant qu'informateurs objectifs. Ces facteurs pourraient masquer les effets réels de l'intervention et identifier les changements de manière imprécise. Sinon, les fonctionnalités qui auraient pu être améliorées auraient pu être négligées. Il est possible que le domaine de sensibilité auditive du questionnaire parent soit moins vulnérable au biais clinicien-parent. D'après notre expérience, les thérapeutes et les parents semblent être moins intéressés par cette dimension, bien que ce soit le point central de notre étude.
5. Des améliorations ont été observées dans les groupes ne recevant pas la musique filtrée. Environ 40% des parents d'enfants ne recevant pas la musique filtrée ont signalé des améliorations concernant au moins une caractéristique comportementale. Ces réactions positives pourraient être dues à des caractéristiques non spécifiques du protocole, telles qu'un environnement d'intervention détendu favorisant l'engagement social et le jeu spontané, ainsi qu'un biais positif en matière «d'attentes» et les effets de la familiarité avec le personnel et le contexte au fur et à mesure que l'enfant progressait. à travers les cinq séances de laboratoire. Cependant, les groupes recevant de la musique filtrée ont divergé des groupes de contrôle lorsque les parents ont signalé une amélioration de la sensibilité auditive.
6. Les évaluations standardisées de la fonction cognitive et des repères de développement n'ont pas été évaluées. L'absence de ces informations a empêché la confirmation de l'appariement pour ces variables, bien que, en fonction de la taille de l'échantillon, l'assignation aléatoire ait conduit à une attente raisonnable des échantillons appariés. La randomisation des participants, en ce qui concerne les paramètres évalués, était efficace et il n'y avait aucune différence de groupe dans leur représentation. Des évaluations standardisées de la fonction cognitive et du développement fourniraient des données permettant d'étudier deux questions: (1) Les hypersensibilités auditives sont-elles liées à la fonction cognitive et aux repères développementaux? (2) L'efficacité du LPP est-elle liée aux différences individuelles dans la fonction cognitive?
7. Nos participants étaient jeunes et sur le spectre sévère de l'autisme et les résultats pourraient ne pas se généraliser aux TSA plus âgés ou moins graves.
8. Les études ont exclu la possibilité de confirmer les voies neuronales spécifiques responsables des améliorations comportementales observées. Les méthodes employées n'ont pas permis de confirmer si l'hypersensibilité auditive était due à un compromis dans la régulation neuronale fonctionnelle des muscles de l'oreille moyenne (comme proposé par la théorie polyvagale) et corrigé à l'aide d'un modèle d'exercice.
9. Les études ne fournissaient pas les informations nécessaires pour distinguer les voies alternatives conduisant à ou corrigeant les hypersensibilités auditives, telles que l'influence potentielle de l'intervention sur les voies neurales endommagées (par exemple, le nerf auditif ou facial), sur les structures périphériques endommagées (par exemple, l'oreille moyenne. oreille interne), ou des structures centrales impliquées dans le traitement du signal acoustique ou dans la représentation corticale.
10. Le lien hypothétique entre la fonction de transfert de l'oreille moyenne et les hypersensibilités auditives pourrait être limité. Les hypersensibilités, en particulier les sons de haute fréquence, pourraient être dues non pas à la régulation neurale des muscles de l'oreille moyenne, mais aux réflexes cochléaires olivaires. Des tests de la fonction de l'oreille interne et du degré d'hypersensibilité auditive aux sons à haute fréquence doivent être évalués pour écarter cette possibilité.
11. Les améliorations générales du comportement observées suite à une réduction de la sensibilité auditive pourraient ne pas être liées au système d'engagement social intégratif proposé. Le comportement amélioré peut plutôt se produire naturellement lorsque les sons ne sont plus douloureux ni gênants.

Directions futures

Une mesure du mécanisme intervenant hypothétique, la fonction de transfert de l'oreille moyenne, a été absente des expériences formelles évaluant l'efficacité du LPP. Au moment où les participants ont été testés, aucun appareil commercial ou de recherche clinique n'était disponible pour surveiller la fonction de transfert de l'oreille moyenne. En l'absence d'une mesure sensible de la fonction de transfert de l'oreille moyenne, la seule méthode permettant de démontrer l'efficacité était de quantifier la physiologie, le traitement auditif et les mesures de comportement, et de déduire que le LPP avait normalisé une fonction de transfert de l'oreille moyenne atypique. Récemment, nous avons développé un système d'absorption acoustique de l'oreille moyenne (MESAS) pour mesurer la fonction de transfert de l'oreille moyenne ([49](#)). MESAS fournit une mesure objective du rôle médiateur potentiel que jouent les muscles de l'oreille moyenne dans la survenue d'hypersensibilité auditive (voir réf. ([50](#))).

En fournissant une mesure objective de la fonction de transfert de l'oreille moyenne, les recherches futures sur MESAS permettront de tester de manière sélective l'efficacité du LPP dans la normalisation de la fonction de transfert de l'oreille moyenne. En cas de confirmation, la LPP pourrait être appliquée aux personnes présentant une fonction atypique de l'oreille moyenne, y compris une rééducation après une otite moyenne. En outre, MESAS permettra aux recherches futures d'évaluer les conséquences comportementales et psychologiques d'une fonction de transfert atypique de l'oreille moyenne, de fournir des données permettant de valider une mesure quantitative des hypersensibilités auditives indépendamment des rapports subjectifs et de contribuer à l'amélioration des interventions (par exemple, LPP).) qui peuvent fonctionner comme des exercices neuronaux efficaces pour normaliser la fonction de transfert de l'oreille moyenne.

Contributions d'auteur

Stephen W. Porges a été impliqué dans tous les aspects de la recherche, y compris la conception, la conception des stimuli d'intervention, la conception du protocole, l'analyse, l'interprétation et la rédaction du manuscrit. Olga V. Bazhenova et Elgiz Bal ont participé à la conception, à l'acquisition et aux analyses et brouillons préliminaires. Nancy Carlson et Yevgeniya Sorokin ont participé à l'acquisition des données. Keri J. Heilman a participé à l'acquisition de données, à l'analyse de données et à la rédaction des versions finales. Edwin H. Cook a participé à l'élaboration du projet final et à l'interprétation des données. Gregory F. Lewis a participé au développement des stimuli, au développement du système d'absorption acoustique de l'oreille moyenne (MESAS) et à la collecte et à l'interprétation des données préliminaires à l'aide de MESAS.

Déclaration de conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent que la recherche a été menée en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêts potentiel.

Remerciements

Des portions de cet article ont été présentées par Stephen W. Porges au Centre d'étude et à l'institut Reiss-Davis pour enfants, une division des Services à l'enfant et à la famille Vista Del Mar, le 8 février 2013, alors qu'il recevait la chaire Reiss-Greenberg, une présidente du centre d'étude Reiss-Davis pour enfants. La recherche décrite dans ce manuscrit a été financée en partie par des subventions de l'Institut national de la santé mentale (MH060625), de la fondation Unicorn Children's Foundation, de la fondation Cure Autism Now, de la fondation Nancy Lurie Marks Family et de Autism Speaks. Le contenu de ce manuscrit n'engage que la responsabilité de ses auteurs et ne représente pas l'opinion officielle du NIH ou d'autres organismes de financement. Nous aimerions remercier les personnes suivantes pour le codage, la conduite d'interventions, les entretiens et les sessions d'évaluation: Mirit Cohen, Emily Harden, Claudia Joe, Lee Anne Jones, Alexis Kramer, Jocelyn Lebow, Margro Purple et Patricia Rao. Nous voudrions remercier Ross Apparies pour son implication dans le développement des stimuli utilisés pour l'intervention et dans l'acquisition des données. Nous aimerions également remercier les parents et les enfants qui ont participé à la recherche.

Références

1. Coleman M, Gillberg C. La biologie des syndromes autistiques . New York: Praeger; (1985).
2. Dissanayake C, Sigman M. Attachement et réactivité émotionnelle chez les enfants atteints d'autisme . Dans: Masters Glidden L, éditeur. éditeur. Revue internationale de recherche sur le retard mental: autisme . San Diego, Californie: Academic Press; (2001). p. 239–66
3. Frith U, Baron-Cohen S. Perception chez les enfants autistes . Dans: DJ Cohen, Donnellan AM, Paul R, rédacteurs. , éditeurs. Manuel de l'autisme et des troubles envahissants du développement . New York, NY: John Wiley & Sons; (1987). p. 85-102
4. Hayes R, Gordon A. Anomalies auditives chez les enfants autistes . Lancet (1977) 2 : 767.10.1016 / S0140-6736 (77) 90278-1 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
5. Klin A. Préférences d'écoute en ce qui concerne la parole chez 4 enfants ayant une déficience intellectuelle . J Child Psychol Psychiatry (1992) 33 : 763-910.1111 / j.1469-7610.1992.tb00911.x [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
6. Lockyer L, Rutter M. Une étude de suivi de la psychose infantile sur cinq à quinze ans: III. Aspects psychologiques . Br J Psychiatry (1969) 115 : 865-8210.1192 / bjp.115.525.865 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
7. Mundy P. Comportement comportemental en matière d'attention conjointe et d'attitude socio-émotionnelle chez les enfants atteints d'autisme . Dev Psychopathol (1995) 7 : 63–8210.1017 / S0954579400006349 [[CrossRef](#)]
8. U Rosenhall, Nordin V, M Sandström, G Ahlsén, Gillberg C. Autisme et perte auditive . J Autism Dev Disord (1999) 29 : 349–5710.1023 / A: 1023022709710 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
9. Ceponiene R, T Lepistö, Shestakova A, A Vanhala, Alku P, Näätänen R, et al. Déficience auditive sélective parole-son dans l'autisme: peut percevoir mais ne pas assister . Proc Natl Acad Sci USA (2003) 100 : 5567–7210.1073 / pnas.0835631100 [[Article gratuit de PMC](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
10. Dawson G. La latéralisation cérébrale dans l'autisme: indices de son rôle dans le développement du langage et de l'affect . Dans: Molfese DL, Segalowitz SJ, éditeurs. , éditeurs. La latéralisation du cerveau chez les enfants: conséquences sur le développement . New York, NY: The Guilford Press; (1988). p. 437–61
11. NM Gage, Siegel B, Roberts TPL. Anomalies de maturation du système auditif cortical chez les enfants autistes: une enquête MEG . Brain Res Dev Brain Res (2003) 144 : 201-910.1016 / S0165-3806 (03) 00172-X [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
12. Gervais H, Belin P., N. Boddaert, M. Leboyer, A. Coez, Sfaello I. et al. Traitement de la voix corticale anormale dans l'autisme . Nat Neurosci (2004) 7 : 801-210.1038 / nn1291 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
13. Khalifa S., Bruneau N., Roge B., Georgieff N., Veuillet E., Adrien JL et al. Augmentation de la perception de la sonie dans l'autisme . Hear Res (2004) 198 : 87–9210.1016 / j.heares.2004.07.006 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
14. Maziade M, C Merette, M Cayer, Roy MA, P Szatmari, Côte R, et al. Prolongation des réponses évoquées par l'audition du tronc cérébral chez des sujets autistes et leurs proches non affectés . Arch Gen Psychiatry (2000) 57 : 1077–8310.1001 / archpsyc.57.11.1077 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
15. Smith DE, Miller SD, Stewart M, Walter TL, McConnell JV. Perte auditive conductrice chez les enfants autistes, ayant des troubles d'apprentissage et chez les enfants normaux . J Autism Dev Disord (1988) 18 : 53-6510.1007 / BF02211818 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
16. Tecchio F, F Benassi, F Zappasodi, Gialloreti LE, Palerme M, Seri S, et al. Traitement sensoriel auditif dans l'autisme: une étude magnétoencéphalographique . Biol Psychiatry (2003) 54 : 647–5410.1016 / S0006-3223 (03) 00295-6 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]

17. Thivierge J, C Bedard, Cote R, Maziade M. Brainstem évoquent une réponse évoquée auditive et des anomalies sous-corticales chez l'autisme . *Am J Psychiatry* (1990) 147 : 1609–13 [[PubMed](#)]
18. Marco JE, LBN Hinkley, SS Hill, SS Nagarajan. Traitement sensoriel dans l'autisme: une revue des résultats neurophysiologiques . *Pediatr Res* (2011) 69 : 48–5410.1203 / PDR.0b013e3182130c54 [[Article gratuit de PMC](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
19. Khalfa S., Dubal S., E. Veuillet, F. Perez-Diaz, R. Jouvent, Collet L .. Normalisation psychométrique d'un questionnaire sur l'hyperacousie . *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* (2002) 64 : 436-4210.1159 / 000067570 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
20. Borg E, Counter SA. Les muscles de l'oreille moyenne . *Sci Am* (1989) 261 : 74–8010.1038 / scientificamerican0889-74 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
21. Le CM liberman et les juges Guinan. Contrôle du feedback de la périphérie auditive: effets anti-masquage des muscles de l'oreille moyenne versus les efférents olivocochléaires . *J Commun Disord* (1998) 31 : 471-8310.1016 / S0021-9924 (98) 00019-7 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
22. Le juge Zwislocki Système auditif: non-linéarité périphérique et additivité centrale, comme le révèle le réflexe du muscle stapédien humain . *Proc Natl Acad Sci USA* (2002) 99 : 14601–610.1073 / pnas.222543199 [[Article libre de PMC](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
23. Porges SW, Lewis GF. L'hypothèse Polyvagale: mécanismes communs médiateurs de la régulation autonome, des vocalisations et de l'écoute . Dans: Brudzynski SM, éditeur. éditeur. *Manuel de vocalisation chez les mammifères: une approche des neurosciences intégratives* . Amsterdam: Presse académique; (2009). p. 255–64
24. Kryter KD. Méthodes de calcul et d'utilisation de l'indice d'articulation . *J Acoust Soc Am* (1962) 34 : 1689–9710.1121 / 1.1909096 [[CrossRef](#)]
25. American National Standards Institute. ANSI S3.5-1997: Méthodes de calcul de l'indice d'intelligibilité de la parole . New York, NY: Société acoustique d'Amérique; (1997).
26. Hanks WD, Rose KJ. Résonance de l'oreille moyenne et mesures d'immittance acoustique chez les enfants . *J Speech Hear Res Res* (1993) 36 : 218-22 [[PubMed](#)]
27. Schiaffino S, Reggiani C. Types de fibres dans les muscles squelettiques des mammifères . *Physiol Rev* (2011) 91 : 1447–53110.1152 / physrev.00031.2010 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
28. Porges SW. Le vague: un médiateur de caractéristiques comportementales et viscérales associées à l'autisme . Dans: Bauman ML, Kemper TL, éditeurs. , éditeurs. *La neurobiologie de l'autisme* . Baltimore: Presses universitaires Johns Hopkins; (2005). p. 65–78
29. Porges SW. La perspective polyvagale . *Biol Psychol* (2007) 74 : 116-4310.1016 / j.biopsycho.2006.06.009 [[Article libre de PMC](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
30. Lord C, Rutter M, Le Couteur A. Entretien de diagnostic pour l'autisme révisé: version révisée d'un entretien de diagnostic pour les aidants naturels de personnes présentant un trouble envahissant du développement . *J Autism Dev Disord* (1994) 24 : 659–8510.1007 / BF02172145 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]
31. American Psychiatric Association. *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* . 4ème éd Washington, DC: American Psychiatric Association; (1994).
32. Organisation mondiale de la santé. *Classification internationale des maladies* . 10ème édition de Genève: Organisation mondiale de la santé; (1992).
33. Bazhenova OV, Sorokin Y, Bal E, Carlson N, Heilman KJ, Denver JW et al. L'échelle de codage d'interaction sociale (SICS) (non publiée).
34. Lord C, Risi S, Lambrecht L, Cook EH, Leventhal BL, DiLavore PC, et al. Calendrier d'observation diagnostique de l'autisme - générique: mesure standard des déficits sociaux et de communication associés au spectre de l'autisme . *J Autism Dev Disord* (2000) 30 (3): 205–2310.1023

/ A: 1005592401947 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]

35. Seibert JM, Hogan AE, Mundy PC. Évaluation des compétences interactionnelles: les premières échelles de communication sociale . *Infant Ment Health J* (1982) 3 : 244–5810.1002 / 1097-0355 (198224) 3: 4 <244 :: AID-IMHJ2280030406> 3.0.CO; 2-R [[CrossRef](#)]

36. Bettison S. Les effets à long terme de la formation auditive sur les enfants autistes . *J Autism Dev Disord* (1996) 26 : 361–7410.1007 / BF02172480 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]

37. Porges SO, Macellario M, Stanfill SD, McCue K, Lewis GF, Harden ER, et al. Arythmie respiratoire des sinus et traitement auditif dans l'autisme: déficits modifiables d'un système d'engagement social intégré? *Int J Psychophysiol* (2013) 88 : 261–7010.1016 / j.ijpsycho.2012.11.009 [[Article gratuit de PMC](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]

38. Keith RW. SCAN: Un test de dépistage des troubles du traitement auditif . San Antonio: Harcourt Brace Jovanovich; (1986).

39. Keith RW. SCAN: Test de dépistage des troubles du traitement auditif chez les enfants - Révisé . San Antonio: Harcourt Brace Jovanovich; (2000).

40. Berard G. Entendre le même comportement . New Canaan, CT: Keats; (1993).

41. Tomatis AA. L'oreille consciente: Ma vie de transformation par l'écoute . Barrytown, New York: Station Hill Press; (1991).

42. Edelson SM, Arin D., Bauman M., Lukas SE, Rudy JH, Sholar M. et al. Formation à l'intégration auditive: étude à double insu des effets comportementaux et électrophysiologiques chez les personnes atteintes d'autisme . *Focus Autism Autres Dev Disabl* (1999) 14 : 73-8110.1177 / 108835769901400202 [[CrossRef](#)]

43. Rimland B, Edelson SM. Bref rapport: étude pilote sur la formation en intégration auditive dans l'autisme . *J Autism Dev Disord* (1995) 25 : 61–7010.1007 / BF02178168 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]

44. Gillberg C, Johansson M, S Steffenberg, Berlin O. Formation à l'intégration auditive chez les enfants autistes: bref rapport d'une étude pilote ouverte . *Autism* (1997) 1 : 97–10010.1177 / 1362361397011009 [[CrossRef](#)]

45. Kershner JR, RL Cummings, Clarke KA, AJ Hadfield, BA Kershner. Évaluation sur deux ans du programme de formation à l'écoute Tomatis avec des enfants handicapés d'apprentissage . *Learn Disabil Q* (1990) 13 : 43–5310.2307 / 1510391 [[CrossRef](#)]

46. Mudford OC, Cross BA, Breen S, Cullen C, Reeves D, Gould J, et al. Formation à l'intégration auditive pour les enfants autistes: aucun avantage comportemental détecté . *Am J Ment Retard* (2000) 105 : 118-2910.1352 / 0895-8017 (2000) 105 <0118: AITFCW> 2.0.CO; 2 [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)]

47. Zollweg W, Palm D, Vance V. L'efficacité de la formation en intégration auditive: une étude en double aveugle . *Am J Audiol* (1997) 6 : 39.

48. Gilmore T. L'efficacité de la méthode Tomatis pour les enfants présentant des troubles de l'apprentissage et de la communication: une méta-analyse . *Int J Listening* (1999) 13 (12-23): 10.1080 / 10904018.1999.10499024 [[CrossRef](#)]

49. Lewis GF, Porges SW. Demande de brevet US N ° WO2012082721 A2 . Washington, DC: Office des brevets et des marques des États-Unis; (2012).

50. Porges SW, Lewis GF. Demande de brevet US N ° 13/992 450 . Washington, DC: Office des brevets et des marques des États-Unis; (2013).