

Контралатеральная маршрутизация сигнала: обзор литературы по односторонней тугоухости и эффективности подбора систем CROS/BiCROS (2019)

Дуглас Л. Бек (Douglas L. Beck), AuD, Вирджиния Рамачандран (Virginia Ramachandran), AuD, PhD
HearingReview, Октябрь 2019 г. Ссылка: <https://www.hearingreview.com/inside-hearing/research/contralateral-routing-of-signal-a-status-report-2019>

Односторонняя и асимметричная тугоухость – одни из самых плохо изученных состояний, достаточно часто встречающихся в аудиологической практике. В данной статье рассматриваются различные формы односторонней тугоухости и приводится обзор существующих методов вмешательства, в частности, использования систем CROS и BiCROS.

Термины "односторонняя глухота" (ОСГ), "асимметричная сенсоневральная тугоухость" (АСНТ), "односторонняя сенсоневральная тугоухость" (ОСНТ) и "внезапная сенсоневральная тугоухость" (ВСНТ) иногда используют в качестве синонимов, что приводит к очевидной путанице. В этой статье мы рассмотрим состояния, описываемые этими терминами, а также особенности и результаты подбора слуховых аппаратов в соответствующих случаях.

Терминология

Терминология, используемая для описания асимметричного слуха, весьма разнообразна. Обращение к литературным данным не всегда позволяет понять, как правильно описать тот или иной вариант нарушения слуха. Терминология и связанные с ней критерии различаются в зависимости от автора и его предпочтений.

В медицинских учреждениях терапевты и хирурги в первую очередь озабочены поиском этиологии тугоухости и решением вопроса о возможности ее медикаментозного или хирургического лечения. При проведении научных исследований классификация тугоухости направлена на определение критериев включения и исключения привлеченных к исследованию испытуемых. Аудиологи часто характеризуют тугоухость на основании сохранности коммуникативных функций и субъективного восприятия пациентами существующих нарушений. В результате на терминологию и сопутствующие понятия влияет подготовка конкретного специалиста и его роль в поддержке людей с этими атипичными нарушениями слуха. Приведенный ниже обзор литературы подчеркивает сложности, связанные с понятиями ОСГ, АСНТ, ОСНТ и ВСНТ.

В недавней статье Lipschitz с соавт.¹ определили ОСГ как одностороннюю глубокую тугоухость в сочетании с нормальным слухом в контралатеральном ухе. С точки зрения этих авторов, АСНТ – это состояние, при котором в хуже слышащем ухе отмечается глубокая тугоухость, а в лучше слышащем – тугоухость от малой до умеренной. Bowers² считает, что ОСНТ – это нормальные пороги слышимости в одном ухе в сочетании с тугоухостью любой степени в противоположном ухе. Автор полагает, что ОСГ следует рассматривать как частный случай ОСНТ, при котором в хуже слышащем ухе отсутствует пригодный для коррекции слух.

Хотя некоторые варианты терминологии основаны на степени тяжести тугоухости или динамике ее начала, эти факторы не всегда поддаются определению. "Тяжесть" означает степень тугоухости в децибелах, а не четкость звуковосприятия, способность слушать звук, локализовать его источник и следить за звуковыми событиями. Иными словами, на основании аудиограммы у некоторых людей с ОСНТ может быть тяжелая или глубокая тугоухость, но при этом они хорошо понимают речь комфортной громкости. Другие, при той же степени тугоухости, не могут повторить услышанные слова, но достаточно хорошо локализируют источник звука.

Проблематичным представляется и термин "ОСГ". Слово "глухота" (присутствующее в термине "односторонняя глухота") означает повышение порогов слышимости до 91 дБ и более. Таким людям недоступны звуки обычной разговорной громкости. Вместе с тем, очень громкие звуки могут быть слышны,

т.е., в отличие от нефункционирующего уха, "глухое" ухо слышит, но только самые громкие звуки. Кроме того, термин "ОСГ" иногда используют для обозначения внезапной тугоухости различной степени.

Что касается степени тугоухости, на практике термины ОСГ, АСНТ, ОСНТ и ВСНТ используют для обозначения снижения слуха от малого до глубокого. Ситуация осложняется тем, что при одной и той же степени тугоухости (основанной на порогах слышимости в дБ) разборчивость речи может варьировать от 0 до 100%. Van de Heyning с соавт.³ предлагают определения АСНТ и ОСГ, основанные на существующей терминологии (например, Vincent с соавт., 2015⁴). Для расчета среднего порога слышимости используются 4 частоты – 500, 1000, 2000 и 4000 Гц. Согласно Heyning с соавт., ОСГ подразумевает повышение среднего порога слышимости в хуже слышащем ухе до 70 дБ ПС и более в сочетании со средним порогом слышимости в лучше слышащем ухе не выше 30 дБ ПС. АСНТ, в свою очередь, означает повышение среднего порога слышимости в хуже слышащем ухе до 70 дБ ПС и более, а в лучше слышащем ухе – до 30-55 дБ ПС.

Поскольку данная статья касается немедикаментозного и нехирургического подхода к коррекции стойкой тугоухости, мы будем рассматривать одностороннюю тугоухость (ОСТ), асимметричную тугоухость (АСТ) и одностороннюю глухоту (ОСГ) как состояния, при которых пороги слышимости в одном ухе значительно выше, чем в другом, что отрицательно сказывается на функционировании пациента. При этом бинауральное звукоусиление неэффективно или недостаточно эффективно. Именно в таких случаях следует рассматривать альтернативные варианты вмешательства.

Этиология и эпидемиология

Степень воздействия ОСТ/АСТ/ОСГ на функционирование пациента, вероятно, определяется временем и динамикой развития тугоухости. Начало ОСТ/АСТ/ОСГ часто описывают как "внезапное". Что касается ВСНТ, в 98% случаев она бывает односторонней, а её этиология чрезвычайно разнообразна и не ограничивается причинами, перечисленными в табл. 1. Kuhn с соавт.⁵ отмечают, что конкретную этиологию удастся установить не более чем в половине случаев. Fal с соавт.⁶ указывают, что если внезапной сенсоневральной тугоухостью считать снижение слуха на 30 дБ и более не менее чем на трех смежных частотах, развившееся в течение 72 часов, то она встречается приблизительно в 10 случаях на 100'000 человек. Следует подчеркнуть, что ВСНТ (в одном или обоих ушах) относится к числу немногих "неотложных состояний уха" и требует немедленного/срочного обращения за медицинской помощью.⁷

Табл. 1: Вероятная этиология внезапной сенсоневральной тугоухости (ВСНТ)

Аутоиммунные заболевания внутреннего уха

Мигрень

Рассеянный склероз

Болезнь Меньера

Сахарный диабет

Синдром Когана

Системная красная волчанка

Болезнь Лайма

Бактериальный менингит

Криптококковый менингит

Сифилис

Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ)

Свинка

Отосклероз

Расширенный водопровод преддверия

Ототоксические препараты (аминогликозиды, нестероидные противовоспалительные средства, салицилаты и т.д.)

Травмы внутреннего уха (например, взрывные)

Ятрогенная травма / хирургическое вмешательство

Перилимфатическая фистула

Перелом височной кости

Новообразования

Вестибулярная шваннома

Сосудистые заболевания

Показатели заболеваемости ОСТ/АСТ/ОСГ широко варьируют, вероятно, в связи с различиями в определении и диагностике этих состояний. Односторонняя врожденная тугоухость встречается относительно редко (Bowers² считает, что ОСТН отмечается у 1 из 100'000 новорожденных), однако к трем годам она может развиваться у 3% детей (3'000 на 100'000). Согласно данным сайта hear-it.org⁸, ежегодно односторонняя тугоухость развивается у 60'000 жителей США. По оценке Meehan с соавт.⁹ до 10% жителей планеты страдают односторонней глухотой, односторонней тугоухостью или значительной асимметричной тугоухостью.

Проблемы, связанные с ОСТ/АСТ/ОСГ

Если рассматривать только влияние ОСТ/АСТ/ОСГ на слышимость речи, мы можем ошибочно предположить, что последствия односторонних нарушений слуха минимальны, потому что речь может восприниматься лучше слышащим ухом. Однако, на самом деле всё намного серьезнее, как это продемонстрировали Galloway с соавт.¹⁰, проанализировав влияние односторонней тугоухости на функциональные, психологические, социальные и поведенческие аспекты жизни взрослых людей.

Негативные последствия ОСТ/АСТ/ОСГ связаны с невозможностью эффективного использования бинаурального слуха (межушной разности времени и громкости, бинаурального шумоподавления, бинауральной суммации и т.п.). Дело в том, что периферическая слуховая система не посылает в мозг симметричные и взаимодополняющие сигналы. Невозможность эффективного использования бинауральной информации обычно приводит к нарушению пространственной локализации источника звука. А именно, ОСТ/АСТ/ОСГ часто не позволяет сосредоточить слуховое внимание на соответствующих участках горизонтальной или вертикальной оси.

Кроме того, для оценки расстояния до источника звука центральная нервная система должна практически мгновенно проанализировать междушумную акустическую информацию. Этот анализ включает сравнение и контрастирование междушумной разности громкости и междушумной разности времени по параметрам фазы, времени появления и очередности сигналов. После этого бинаурально полученная информация должна быть интегрирована в бинауральную суммацию и бинауральное шумоподавление для того, чтобы понять, на какие звуки следует обратить внимание, какие – игнорировать, а также определить направление поступления звуков. Это означает, что бинауральный слух не просто повышает громкость звука на 2-3 дБ; он способствует очень сложному анализу звукового окружения, включая декодирование и восприятие речи в шуме, пространственную ориентацию и слуховое внимание.

Из-за проблем, связанных с потерей бинауральных функций, односторонняя тугоухость связана с множеством негативных последствий и исходов, в том числе:

- Проблемы разборчивости речи в шуме
- Нарушение локализационных способностей
- Проблемы равновесия
- Задержка речевого и языкового развития
- Расстройства слуховой обработки
- Общие коммуникационные затруднения
- Задержка социального и эмоционального развития
- Проблемы с успеваемостью и поведением.

Поэтому ранняя диагностика и вмешательство имеют важнейшее значение.

Вмешательство при ОСТ/АСТ/ОСГ

У взрослых основным вариантом вмешательства при ОСТ/АСТ/ОСГ остается контралатеральная маршрутизация сигнала (CROS). Основная идея CROS состоит в том, что микрофон размещают со стороны хуже слышащего уха, а ресивер, связанный с микрофоном беспроводным или проводным путем, – со стороны лучше слышащего (или нормально слышащего) уха. Если звукоусиление может благоприятно сказаться на обоих ушах, но одно из них имеет гораздо больше шансов интерпретировать и воспринимать звуки, используется стратегия бинауральной контралатеральной маршрутизации сигнала (BiCROS). При этом микрофоны расположены с обеих сторон, но ресивер – только со стороны лучше слышащего уха. Таким

образом, система CROS подразумевает наличие одного микрофона^а, а система BiCROS – двух микрофонов. В обоих случаях суммарный сигнал передается в лучше слышащее ухо.

Среди других вариантов вмешательства при OCT/ACT/OCG можно назвать передачу звука в лучше слышащее ухо путем костного звукопроведения. При транскраниальном варианте CROS очень мощные слуховые аппараты, размещаемые со стороны хуже слышащего уха, способны создавать столь высокоамплитудный сигнал, что он передается в лучше слышащее ухо за счет вибрации. В ряде случаев прибегают к использованию вживляемых в кость (остеоинтегрированных) слуховых аппаратов или даже кохлеарных имплантов, размещаемых со стороны хуже слышащего (глухого) уха. Однако мы сосредоточимся на системах CROS и BiCROS.

Оценка эффективности систем CROS и BiCROS

Результаты клинического применения стратегий CROS и BiCROS переменны – некоторые пациенты и специалисты отмечают их высокую эффективность, тогда как другие считают, что такое вмешательство неоправданно из-за сомнительных результатов. Иногда субъективные впечатления расходятся с доказательной литературой, подвергая сомнению эффективность традиционных подходов к CROS и BiCROS.

Одна из причин такой двусмысленности заключается в том, что понятие "успех" имеет много аспектов, и разные исследования, как правило, оценивают результаты по-разному. Недавно был разработан консенсусный документ, в котором предлагается единая система тестирования для оценки результатов вмешательства при односторонней глухоте и асимметричной тугоухости,³ однако в большинстве современных работ такая последовательная стратегия не использовалась.

Изучая литературу по CROS и BiCROS, мы намеренно ограничились данными за последнее десятилетие, поскольку новые технологии слухопротезирования, очевидно, позволяют добиться лучших результатов, а большинство используемых устройств являются коммерчески доступными. В 2012 г. Williams, McArdle и Chisolm¹¹ обследовали группу из 39 ветеранов и установили, что новые технологии BiCROS превосходят по эффективности более ранние варианты. Согласно данным, полученным авторами, прежние технологии чаще всего не обеспечивали адекватного усиления со стороны лучше слышащего уха.

Что касается принятия и использования систем CROS и BiCROS пациентами, то данных по этому вопросу недостаточно. Leterme с соавт.¹² обнаружили, что лишь 11% их пациентов в итоге приобрели устройства CROS. Purcell с соавт.¹³ установили, что 31% детей в их клинике отказались от устройств CROS, ссылаясь на дискомфорт и отсутствие положительного эффекта. Oeding и Valente¹⁴ отметили, что лишь 33% пациентов в их исследовании продолжали пользоваться системами BiCROS. С другой стороны, в работе Williams, McArdle и Chisolm¹¹ 95% пациентов продолжали пользоваться новыми моделями устройств BiCROS. Однако следует учесть, что все они ранее пользовались BiCROS, но многим не хватало усиления. Кроме того, им не надо было платить за эти устройства – расходы брала на себя Администрация по делам ветеранов.

Объективную оценку результатов можно проводить по-разному. Чаще всего тестируют способность локализовать звуки и понимать речь в шуме. Известно, что для локализации мозг использует междушумную разность времени поступления и интенсивности сигналов. Поскольку стратегия CROS/BiCROS подразумевает передачу звука только в одно ухо, нет оснований полагать, что пользователи этих систем смогут локализовать источник сигнала. Это подтверждается данными исследований, которые свидетельствуют о том, что системы CROS/BiCROS не позволяют слушателям локализовать звук.¹⁵⁻¹⁹ Однако можно добиться некоторой латерализации источников звука (понимания того, с какой стороны поступает звук).^{16,17}

Второй распространенный показатель эффективности этих устройств – восприятие речи на фоне шума. Но и здесь есть свои нюансы. Ответ на вопрос, помогают ли системы CROS/BiCROS понимать речь на фоне шума, в значительной степени зависит от парадигмы исследования. Если речь поступает со стороны

^а Для обеспечения акустической прозрачности, т.е. для устранения эффекта вкладыша, микрофон может располагаться и со стороны нормально слышащего уха. Основное отличие CROS от BiCROS – отсутствие дополнительного усиления звука, связанного с нарушением слуха в лучше слышащем ухе. В настоящее время различие в подходах к CROS и BiCROS, в значительной степени, стирается. (Примеч. автора русской версии текста)

микрофона/передатчика, а шум – со всех сторон, ответ на вопрос об эффективности тестируемой системы чаще всего будет положительным.^{15,16,17,19} Если речь поступает фронтально, а шум – со всех сторон, ответ будет неопределенным.^{14-18,20} Если же шум поступает со стороны микрофона/передатчика, а речь – со всех сторон, ответ однозначно будет отрицательным.^{15,16,18}

Очень важны также субъективные впечатления пациентов, но результаты здесь еще более неоднозначны. Во многих работах пациенты отмечают субъективные преимущества устройств CROS/BiCROS^{11,14-18,20}, несмотря на почти полное отсутствие объективных преимуществ. Одной из возможных причин такого расхождения может быть эффект плацебо. Контролировать эту переменную не пытаются практически ни в одном из исследований, посвященных слуховым аппаратам.

Другая возможная причина более выраженных субъективных преимуществ CROS/BiCROS – то, что мы слышим мозгом, а не ушами. В реальной жизни люди не пользуются системами CROS/BiCROS в условиях, создаваемых в лаборатории. Известно, что, пользуясь аппаратами CROS/BiCROS люди не могут локализовать звук без зрительной и контекстной поддержки. Однако, если мы снабдим мозг дополнительной информацией, например, осведомленностью о том, что "дядя Боб сидит справа от меня" (контекстная и зрительная информация), мозг будет локализовать источник звука как находящийся справа, хотя слуховая информация может поступать в левое ухо. Тесты речи в шуме, используемые в исследованиях CROS/BiCROS, обычно не воссоздают типичную реальную обстановку, когда ситуационный контекст способствует пониманию.

Мы не нашли в новейшей литературе исследований, посвященных феномену того, как мы "слышим" и воспринимаем с помощью системы CROS/BiCROS в типичных акустических условиях, в сочетании с мультисенсорным входным сигналом и контекстом, используемым когнитивной системой для понимания происходящего и сказанного. Поэтому неудивительно, что пациенты, пользующиеся этими системами в своей уникальной среде, могут ощущать субъективные преимущества, несовпадающие с объективными результатами, полученными в контролируемых условиях.

К сожалению в опубликованных научных исследованиях редко подробно описывают состояние хуже слышащего уха. Как правило, мы считаем систему CROS/BiCROS решением для "односторонней глухоты", но в литературе это относится только к тональным порогам слышимости и разборчивости речи. Ни в одной из рассматривавшихся работ не оценивали эффект бинаурального слухопротезирования, т.е. авторы не пытались установить, может ли звуковая стимуляция хуже слышащего уха улучшить пространственный слух. Недостаточно внимания уделяется также ограничениям жизнедеятельности пациентов и субъективно воспринимаемым ими "физическим недостаткам", связанным с односторонней глухотой.

В 2006 г. Donald Hayes, PhD, писал: "Было бы нереалистично ожидать существенной эффективности систем CROS при большинстве вариантов фонового шума. Ресурсы, необходимые для восприятия речи на фоне диффузного шума (локализация и разделение полезной и бесполезной информации), не могут быть предоставлены устройством, подающим звук только в одно ухо. Решение таких задач требует бинаурального поступления сигнала..."²¹

Обсуждение

На практике каждый специалист может вспомнить хотя бы одного пациента "не выходящего из дома без своего аппарата CROS". Часто можно услышать, что пациентам нравятся их системы CROS/BiCROS". Мы не оспариваем этот факт.

Однако сегодня мы, как и Hayes²¹ более десяти лет назад, хотим подчеркнуть: многие пациенты путают слух (способность слышать звук) со слушанием (пониманием значения звуков). Иными словами, поскольку их аппарат CROS/BiCROS позволяет слышать мир чуть громче, они уверены, что "слышат лучше". В каком-то смысле это действительно так. Тем не менее, как специалисты мы знаем, что одна из основных задач любой коррекции слуха заключается в улучшении способности понимать речь на фоне шума. Помня об этом, мы должны признать маловероятность того, что системы CROS/BiCROS позволяют заметно улучшить разборчивость речи в шуме, если только говорящий не находится очень близко к микрофону устройства.

Литература

1. Lipschitz N, Kohlberg GD, Scott M, Greinwald JH. Imaging findings in pediatric single-sided deafness and asymmetric hearing loss. *Laryngoscope*. 2019;May 27. doi: 10.1002/lary.28095. [Epub ahead of print.]
2. Bowers D. Unilateral hearing loss in children: Impact and solutions. May 15, 2017. Available at: <https://www.audiologyonline.com/articles/unilateral-hearing-loss-in-children-19953>
3. Van de Heyning P, Távora-Vieira D, Mertens G, et al. Towards a unified testing framework for single-sided deafness studies: A consensus paper. *Audiol Neurotol*. 2017;21:391-398. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28319951>
4. Vincent C, Arndt S, Firszt JB, Fraysse B, Kitterick PT, Papsin BC, Snik A, Van de Heyning P, Deguine O, Marx M. Identification and evaluation of cochlear implant candidates with asymmetrical hearing loss. *Audiol Neurotol*. 2015;20[suppl 1]:87-89.
5. Kuhn M, Heman-Ackah SE, Shaikh JA, Roehm PC. Sudden sensorineural hearing loss: A review of diagnosis, treatment, and prognosis. *Trends Amplif*. 2011;15(3)[Sept]:91-105. doi: 10.1177/1084713811408349 PMID: PMC4040829
6. Fal M, Piechocki J, Morawska-Kochman M, et al. Sudden hearing loss treated with hyperbaric oxygen (HBO): Case study. *Pol Hyperb Res*. 2015;51:7-10.
7. Miller MH. Introduction to special issue: Sudden hearing loss: Unique challenges and opportunities. *Hearing Review*. 2003;10(13):16-18. Available at: <http://www.hearingreview.com/2003/12/sudden-hearing-loss-unique-challenges-and-opportunities>
8. Hear-It.org. Unilateral hearing loss—Single sided deafness. Undated. Available at: www.hear-it-org/single-sided-deafness
9. Meehan S, Hough EA, Crundwell G, Knappett R, Smith M, Baguley DM. The impact of single-sided deafness upon music appreciation. *J Am Acad Audiol*. 2017 May;28(5):444-462. doi: 10.3766/jaaa.16063.
10. Galloway J, Zhang V, Marnane V, Hou S, Stewart G, Bardy F. The impact of unilateral hearing loss on adult life. *Hearing Review*. 2019;26(4)[Apr]:10-14. Available at: <http://www.hearingreview.com/2019/03/impact-unilateral-hearing-loss-adult-life/>
11. Williams, VA, McArdle, RA, Chisolm, TH (2012). Subjective and objective outcomes from new BiCROS technology in a veteran sample. *J Am Acad Audiol*. 2012;23:789-806.
12. Leterme G, Bernardeschi D, Bensemman A, Coudert C, Portal JJ, Ferrary E, Sterkers O, Vicaut E, Frachet B, Bozorg Grayeli A. Contralateral routing of signals hearing aid versus transcutaneous bone conduction in single-sided deafness. *Audiol Neurotol*. 2015;20(4), 251-260.
13. Purcell PL, Jones-Goodrich R, Wisneski M, Edwards TC, Sie KCY. Hearing devices for children with unilateral hearing loss: Patient- and parent-reported perspectives, *Int J Ped Otorhinolaryngol*. 2016;90:43-48.
14. Oeding K, Valente M. Sentence recognition in noise and perceived benefit of noise reduction on the receiver and transmitter sides of a BiCROS hearing aid. *J Am Acad Audiol*. 2013;24:980-991.
15. Kitterick PT, Nelson Smith S, Lucas L. Hearing instruments for unilateral severe-to-profound sensorineural hearing loss in adults: a systematic review and meta-analysis. *Ear Hear*. 2016;37(5):495-507.
16. Kuk F, Seper E, Lau C, Crose B, Korhonen P. Effects of training on the use of a manual microphone shutoff on a BiCROS device. *J Am Acad Audiol*. 2015;26:478-493.
17. Ryu N-G, Moon IJ, Byun H, Jin SH, Park H, Jang K-S, Cho Y-S. Clinical effectiveness of wireless CROS (contralateral routing of offside signals) hearing aids. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2015;272:2213-2219.
18. Snapp HA, Holt FD, Liu X, Rajguru SM. Comparison of speech in noise and localization benefits in unilateral hearing loss subjects using contralateral routing of signal hearing aids or bone anchored implants. *Otol Neurotol*. 2017;38(1):11-18.
19. Snapp HA, Hoffer M, Liu X, Rajguru SM. Effectiveness in rehabilitation of current wireless CROS technology in experienced bone anchored implant users. *Otol Neurotol*. 2017;38(10):1397-1404.
20. Finbow J, Bance M, Aiken S, Gulliver M, Verge J, Caissie R. A comparison between wireless CROS and bone-anchored hearing devices for single-sided deafness: A pilot study. *Otol Neurotol*. 2015;36:819-825.
21. Hayes D. A practice guide to CROS/BiCROS fittings. July 24, 2006. Available at: <https://www.audiologyonline.com/articles/practical-guide-to-cros-bicros-977>.

Авторы



Дуглас Л. Бек (Douglas L. Beck), AuD, исполнительный директор Academic Sciences.



Вирджиния Рамачандран (Virginia Ramachandran), AuD, PhD, специалист по обучению Oticon Inc. в Сомерсете (Нью-Джерси).