آزمون‌های فیزیولوژیک و الکتروفیزیولوژیک شنوایی

آزمون‌های فیزیولوژیک و الکتروفیزیولوژیک شنوایی

تکنیک‌های ارزیابی رفتاری از قبیل بازی شرطی، ادیومتری تقویت بینایی و غیره برای کودکانی که روی صندلی نمی‌نشینند و توانایی همکاری را ندارند غیرممکن است، ازاین‌رو استفاده از آزمون‌های آبجکتیو برای ارزیابی این کودکان بسیار مفید می‌باشد و در بسیاری از مطالعات استفاده از این آزمون‌ها توصیه‌شده است. اما به علت عدم همکاری کودک گاهی لازم است کودک بی‌هوش شود که در زیر انواع بیهوشی به تفضیل آورده شده است و در ادامه قسمت های بعدی همین فصل اثرات آن بر آزمون‌ها شرح داده خواهد شد.

بیهوشی

اغلب برای انجام آزمون‌های فیزیولوژیک و الکتروفیزیولوژیک شنوایی در کودکانی که همکاری نمی‌کنند، استفاده از بیهوشی[1] ضروری است. در مورد اصطلاحات و تعاریف اختصاصی علائم بیهوشی شنوایی‌شناس لازم است به نکات زیر توجه کند:

- Conscious Sedation: حداقل سطح هوشیاری بیمار که بیمار می‌تواند به طور مستقل نفس بکشد و به طور مناسب به محرکات فیزیکی و دستورات کلامی پاسخ می‌دهد.
- Deep Sedation: سطح هوشیاری کاملاً از بین رفته یا تا حدی کاهش‌یافته، به‌طوری که بیمار به آسانی برانگیخته نمی‌شود و رفلکس های حفاظتی ممکن است به‌صورت نسبی یا کامل حذف شود. بیمار هنوز توانایی حفظ تنفس را دارد و به محرکات فیزیکی و دستورات کلامی پاسخ می‌دهد.
- General Anesthesia: بیمار در وضعیت عدم هوشیاری است که رفلکس های حمایتی از بین رفته و همچنین توانایی نفس کشیدن و توانایی پاسخ به محرکات فیزیکی یا دستورات کلامی کاهش می‌یابد.

بیهوشی برای انجام آزمون‌های ادیومتریک، مخصوصاً برای روش‌های فیزیولوژیک و الکتروفیزیولوژیک که نیاز به همکاری غیرفعال بیمار نظیر ایمیتانس آکوستیک، OAE ، ABR و ECochG مناسب است. کلرال هیدرات یا سکوباربیتال معمولاً برای اهداف شنوایی به دلیل استفاده آسان و تأثیرات کلی استفاده می‌شوند. این داروها باعث خواب‌آلودگی، ساکت شدن و گاهی خواب عمیق تا ۱ ساعت می‌شوند. از معایب این دارو می‌توان به تأثیرگذاری طولانی این داروها اشاره کرد.

رفلکس آکوستیک می‌تواند در بیماران بی‌هوش با کلرال هیدرات یا سکوباربیتال مشاهده شود اما تحقیقات نشان می‌دهد که آستانه‌ها ممکن است افزایش یابد. کودکان به طور قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به پاسخ بیهوشی حساسیت متفاوت دارند و دوزهای پیشنهادی برای تمامی کودکان ممکن است کافی نباشد. در کودکان تأخیری استفاده از دارو می‌تواند در آزمون‌های رفتاری و

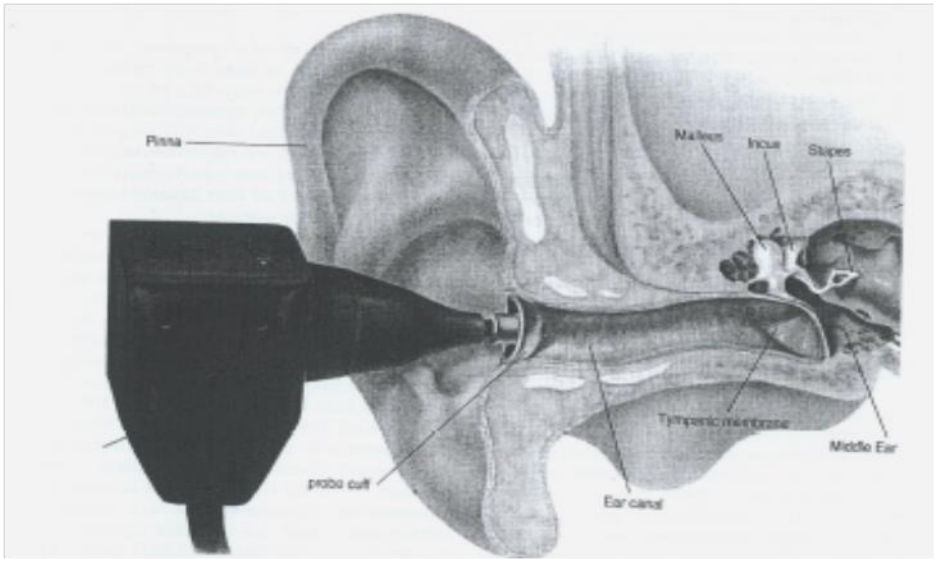
[1] anesthesia

اختلالات تشنج استفاده شود. بنابراین، استفاده از این داروها می‌تواند سبب حذف رفلکس آکوستیک شود. آکوستیک ایمیتانس و OAE می‌تواند تحت شرایط بیهوشی متأثر شود، بدین‌صورت که، فشار گوش میانی به‌وسیله استنشاق گازهایی نظیر نیتروس اکساید افزایش می‌یابد که در پی آن کاهش در کامپلیانس پرده تمپان رخ می‌دهد و منجر به حذف رفلکس آکوستیک می‌شود.

اندازه‌گیری ایمیتانس آکوستیک

اندازه‌گیری آکوستیک ایمیتانس ابزاری آبجکتیو برای ارزیابی تعامل و عملکرد مکانیسم شنوایی محیطی است. آکوستیک ایمیتانس برای تعیین فشار گوش میانی، حرکت پرده صماخ ، عملکرد شیپور استاش، حرکت زنجیره استخوانی و آستانه رفلکس آکوستیک و کم شنوایی غیرعضوی استفاده می‌شود. این تکنیک به‌ویژه برای ارزیابی کودکان مناسب است زیرا آبجکتیو، سریع، دقیق و آسان است. نتایج ایمیتانس آکوستیک برای پزشکانی که قادر به انجام اتوسکوپی برای کودکان جوان و همچنین گرفتن آستانه‌های شنوایی معتبر در کودکانی که همکاری مناسبی ندارند، بسیار کمک کننده است. همچنین ارزیابی‌های ایمیتانس در جمعیت های خاص کودکان شامل ناتوانی های شنوایی، تاخیرات رشدی، اختلالات احساسی، نابینا– ناشنوا، شکاف کام و لب، سندرم داون و اختلالات جمجمه‌ای صورتی بسیار مفید می‌باشد.

سیستم پروب برای ایمیتانس شامل پروبی است که در داخل کانال گوش قرار می‌گیرد و وظایف آن شامل: ارائه محرک تن و همچنین کنترل پمپ فشار هوا که توانایی ایجاد فشار مثبت و منفی یا فشار اتمسفریک در کانال گوش را دارد. گوش میانی سیستم مکانیکی است که تحت کنترل سختی است ازاین‌رو به فرکانس پایین حساس است، بنابراین بیشتر ابزارهای الکتروآکوستیکی ایمیتانس از پروب فرکانس پایین ۲۲۰ هرتز استفاده می‌کنند. کامپلیانس پرده صماخ و تعامل سیستم های گوش میانی میزان سطح فشار صوتی پروب تن در کانال گوش را مشخص می‌کنند. زمانی که در گوش میانی سختی غالب است، نظیر ثابت‌شدگی زنجیره استخوانی، اوتیت مدیا یا کلستئاتوما، میزان انرژی برگشتی بالا است. بااین‌وجود در گسیختگی زنجیره استخوانی میزان جذب انرژی بالا می رود و میزان انرژی انعکاسی در کانال گوش بسیار کم می‌شود.



شکل ۱: قرارگیری سیستم پروب ایمیتانس در کانال گوش خارجی

کاربردهای آکوستیک ایمیتانس در کودکان

تمپانومتری:

- اندازه‌گیری آبجکتیو حرکت پرده صماخ
- اندازه‌گیری فشار گوش میانی
- بررسی باز یا بسته بودن لوله تهویه در پرده تمپان
- تخمین استاتیک کامپلیانس

استاتیک کامپلیانس:

- تمایز ثابت‌شدگی استخوانچه های گوش میانی از گسیختگی گوش میانی

آستانه‌های رفلکس آکوستیک:

- اندازه‌گیری‌های آبجکتیو پاتولوژی‌های حلزون
- تائید کم شنوایی عملکردی
- تائید کم شنوایی انتقالی
- کمک به تشخیص افتراقی کم شنوایی انتقالی

- تخمین آبجکتیو حساسیت شنوایی

حجم فیزیکی کانال[۲]:

- شناسایی پرده صماخ سالم، سوراخ و تشخیص باز بودن لوله تهویه

تمپانومتری

تمپانومتری تکنیک آبجکتیو و دینامیک برای اندازه‌گیری حرکت یا کامپلیانس پرده صماخ به‌عنوان عملکرد تغییرات فشار هوا در کانال گوش خارجی به شمار می رود. اصطلاح کلی تمپانومتری به روش و تکنیکی برای اندازه‌گیری، ثبت و ارزیابی تغییرات در آکوستیک امپدانس با تغییرات منظم در فشار هوا اشاره دارد. کامپلیانس پرده صماخ در فشار هوای ویژه بر روی نموداری که به‌عنوان تمپانوگرام نامیده می‌شود رسم می‌شود. تمپانومتری از تغییرات فشار هوایی بین محدوده‌ی ۲۰۰ داپا تا ۴۰۰- داپا استفاده می‌شود. متخصصین گوش معمولاً ترشحات گوش میانی را از طریق ارزیابی اتوسکوپی پنوماتیک شناسایی می‌کنند. اما تمپانومتری نسبت به اتوسکوپی آبجکتیوتر است و حساسیت آن در شناسایی اوتیت بالاتر است. فشار هوای استفاده‌شده در تمپانومتری در مقایسه با فشار ایجادشده در اتوسکوپ پنوماتیک کمتر است، ازاین‌رو امکان دارد پرده‌هایی که در اتوسکوپی پنوماتیک حرکت نرمال دارند، در تمپانومتری حرکت غیرعادی داشته باشد.

تمپانومتری می‌تواند به طور غیرمستقیم فشار گوش میانی را از طریق تعیین فشار کانال گوش اندازه‌گیری کند. تحقیقات نشان می‌دهد که دقت تمپانومتری در اندازه‌گیری فشار گوش میانی، ۱۵ داپا با فشار واقعی گوش میانی اختلاف دارد. شناسایی زودهنگام فشار منفی به‌واسطه انسداد شیپوراستاش ممکن است سبب جلوگیری از ایجاد اوتیت مدیا شود. وجود فشار منفی بدون مایع در گوش میانی می‌تواند سبب کم شنوایی انتقالی ملایم شود.

جرگر الگوهای تمپانوگرام را به ۵ نوع تقسیم کرد که در زیر شرح داده شده است:

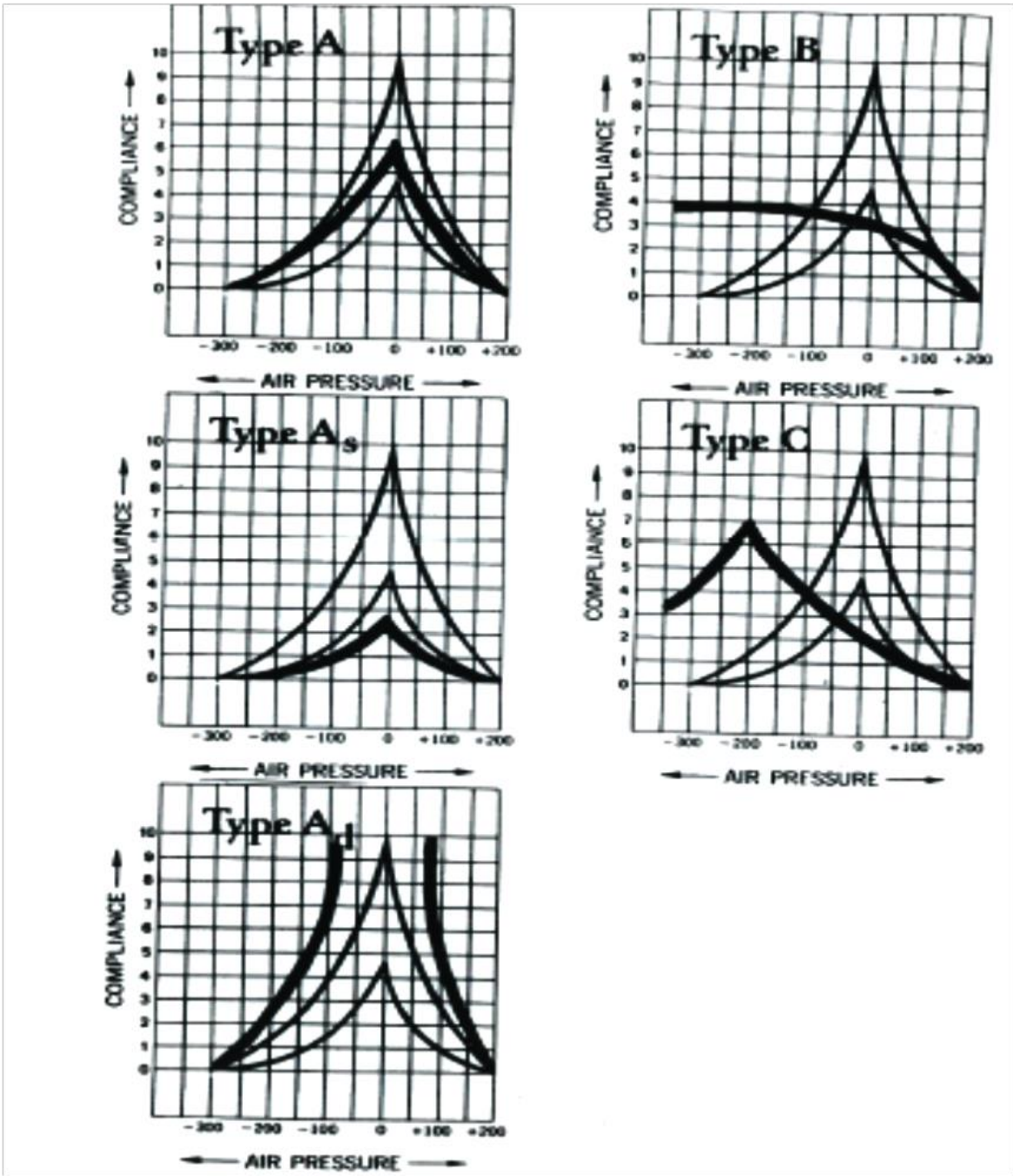
- تمپانوگرام نوع A : در افراد با عملکرد گوش میانی نرمال که دارای فشار نرمال در حداکثر کامپلیانس هستند. در برخی منابع محدوده فشار نرمال را ۵۰ mm H2O+- می‌دانند اما محققان حتی باوجود فشار منفی mm H2O ۱۵۰- ، ادیوگرام و اتوسکوپی نرمال ثبت کرده‌اند، در کل فشار و کامپلیانس طبیعی است.

[2] PVT

- تمپانوگرام نوع As : این نوع تمپانوگرام توسط فشار نرمال و کاهش در دامنه تمپانوگرام مشخص می‌شود که در مواردی مانند اتواسکلروزیس، پرده تمپان ضخیم شده یا اسکار و همچنین در تمپانواسکلروزیس دیده می‌شود. حرف مخفف S نشان از سختی یا کم عمقی[3] تمپانوگرام است.
- تمپانوگرام نوع Ad : فشار در محدود هنجار و دامنه افزایش پیدا کرده است. گسیختگی زنجیره، پرده مونومریک یا شل شده در این نوع دیده می‌شود. حرف مخفف D در اینجا نشان‌دهنده منفصل شدن[4]، ناپیوستگی[5] یا تمپانوگرام عمیق[6] است.
- تمپانوگرام نوع B : زمانی که فشار تغییر می‌کند تغییرات کوچک یا عدم تغییر در کامپلیانس دیده می‌شود. اغلب هیچ نقطه‌ای به‌عنوان قله کامپلیانس در محدوده فشار تا ۴۰۰ – میلی‌متر آب دیده نمی‌شود. این نمودار در بیماران با اوتیت سروز و چسبنده، پارگی پرده تمپان، انسداد با دیواره کانال، سرومن یا بیماران با لوله تهویه در پرده صماخ و در مواردی مانند بدشکلی های مادرزادی گوش میانی دیده می‌شود.
- تمپانوگرام نوع C : کامپلیانس در محدوده نزدیک به نرمال اما فشار در گوش میانی ۲۰۰ – میلی‌متر آب یا بدتر است. این نمودار ممکن به خاطر وجود مایع در گوش میانی نباشد اما بااین‌حال پرده هنوز کمی حرکت دارد. وجود نوع C پایدار در حضور پرده تمپان سالم نشان از کم کاری لوله استاش است. در فشار منفی با کامپلیانس پایین احتمال عفونت گوش میانی با ترشح (MEE) حدود ۳ برابر بیشتر از همان فشار با کامپلیانس بالا است ازاین‌رو هر فشار منفی را نباید به‌منزله حضور مایع در گوش میانی تلقی کرد. در افرادی که نوع C دارند با انجام مانور والساوا می‌توانند آن را به نوع A تبدیل کنند.

تمپانومتری ارزیابی مفیدی برای پایش پیشرفت یا بهبود اوتیت مدیای سروزی در کودکان است، تحقیقات نشان می‌دهد که فشار بین ۱۵۰- تا ۴۰۰- میلی‌متر آب باعث افزایش آستانه در حدود ۲۵ دسی بل می‌شود. تقریباً به‌واسطه‌ی فشار ۱۰۰ – میلی‌متر آب، حدود ۸ دسی بل و فشار ۴۰۰ – میلی‌متر آب حدود ۲۰ دسی بل تغییر در آستانه‌های شنوایی در محدوده گفتاری دیده می‌شود.

[3] Shallowness
[4] Disarticulation
[5] Discontinuity
[6] Deep



شکل۲: طبقه‌بندی تمپانوگرام‌ها بر اساس الگوی جرگر

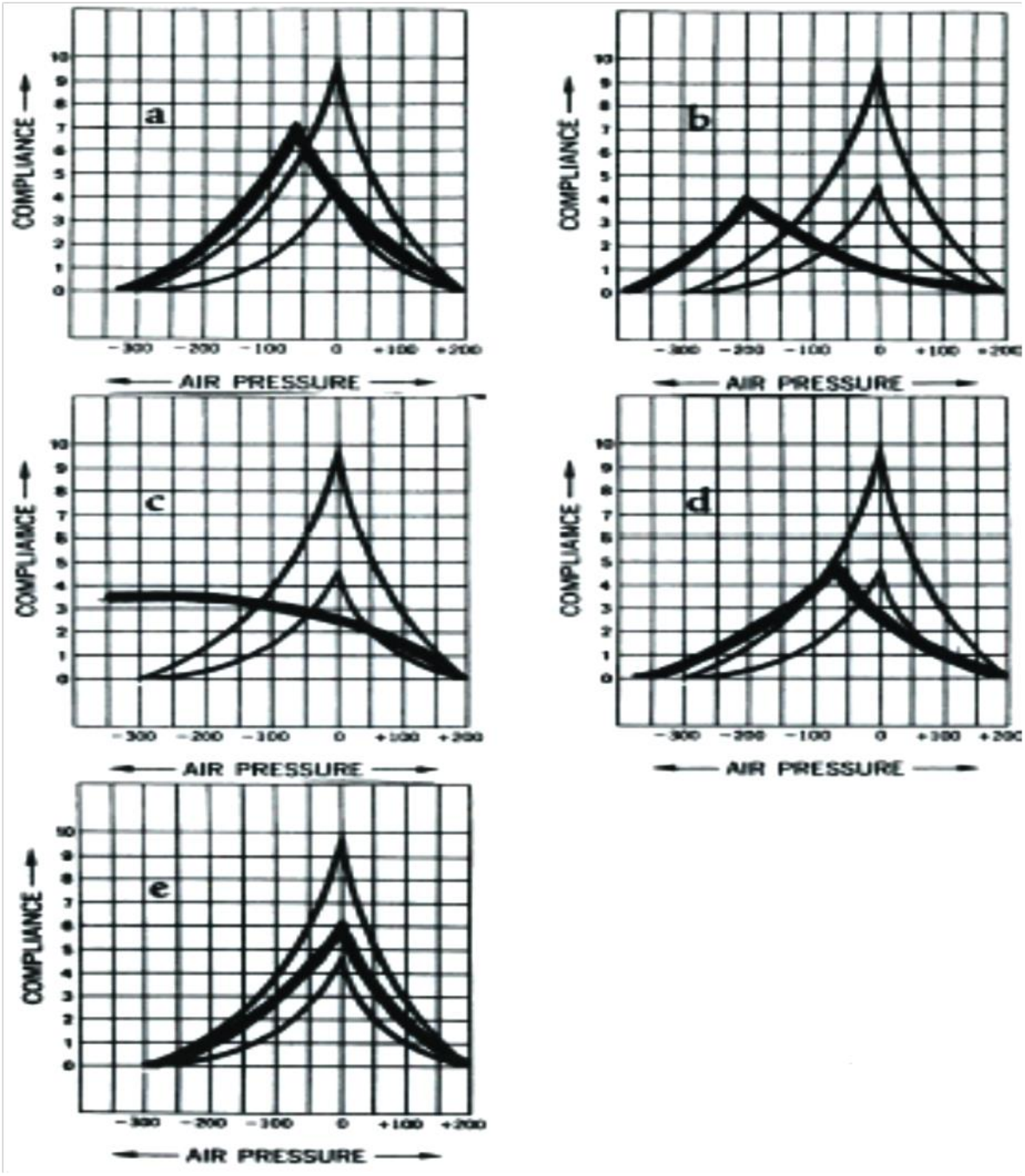
استاتیک ایمیتانس

مقاومت هر سیستم مکانیکی متشکل از ۳ عامل جرم، اصطکاک و سختی می‌باشد. جرم در سیستم مکانیکی گوش میانی توسط جرم زنجیره استخوانی، اصطکاک ناشی از هفت نیامن آویزان و دو ماهیچه می‌باشد. سومین عامل در مقاومت، سختی است که نقش بسیار زیادی در گوش میانی دارد. جز سختی در فوت پلیت رکابی اتفاق می‌افتد که جزء مقاومتی باید بر حرکت مایع مجرای حلزونی غلبه کند. بنابراین، سیستم مکانیکی گوش میانی تحت غلبه‌سختی است. در گوش میانی پاتولوژی‌هایی نظیر اوتیت سروز باعث ایجاد سیستمی با کامپلیانس پایین یا مقاومت بالا می‌شوند. درحالی‌که گسیختگی زنجیره استخوانی باعث ایجاد کامپلیانس بالا یا مقاومت پایین می‌شود.

ضعف عمده استاتیک ایمیتانس، تغییرات وسیع در ارتباط با پاتولوژی های سیستم مکانیکی شنوایی است، برای مثال در استاتیک ایمیتانس، همپوشانی زیادی بین گوش های نرمال، اتواسکلروزیس و ازهم‌گسیختگی زنجیره وجود دارد. طبق قرارداد، اگر استاتیک ایمیتانس کمتر از ۰.۲۸ cc باشد تحت غلبه‌سختی (As) و اگر بیشتر از۲.۵ cc باشد تحت غلبه جرم (Ad) است. در بسیاری از مطالعات اثبات شده است که اوتیت سروز اغلب استاتیکی کمتر از۰.۱ cc ایجاد می‌کند.

طبق تحقیقات جرگر، استاتیک ایمیتانس کمترین اطلاعات تشخیصی را در گروه سنی کمتر از ۶ سال فراهم می‌کند ازاین‌رو باید نتایج این دسته از کودکان بااحتیاط تفسیر شود.

تمپانومتری یک ابزار بسیار مفید در پیگیری روند درمان بیماران اوتیت مدیا با ترشح می‌باشد که نمونه‌ای از آن در شکل ۳ به تصویر کشیده شده است.

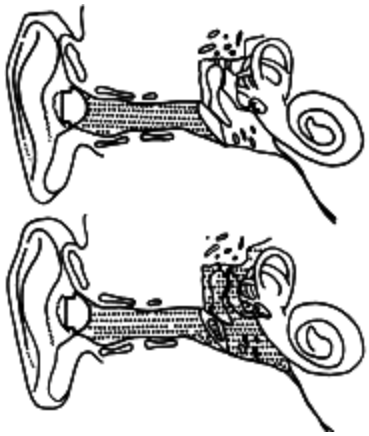


شکل۳. (a): تمپانوگرام نزدیک به نرمال (b): فشار منفی گوش میانی و کاهش کامپلیانس که اغلب به‌واسطه مشکلات تنفسی فوقانی ایجاد می‌شود (c): ترشح گوش میانی (d): بهبود کامپلیانس به دلیل کاهش فشار منفی گوش میانی (e): بازگشت به حالت نرمال

حجم کانال گوش

اندازه‌گیری حجم کانال گوش[7] که گاهی به‌عنوان آزمون حجم فیزیکی[8] نیز شناخته می‌شود از پرکاربردترین پارامترهای اندازه‌گیری در آزمون تمپانومتری می‌باشد. طبق قوانین فیزیک ارائه سیگنال با سطح شدت ثابت در داخل حجم بزرگ و کوچک تولید سطح فشار صوتی های متفاوت می‌کند به‌طوری که در حجم بزرگ، سطح فشار صوتی کم و در حجم کوچک، سطح فشار صوتی بیشتری ایجاد می‌شود.

در حضور پرده تمپان سالم معمولاً حجم کانال گوش‌بین نوک پروب و پرده صماخ ، معادل ۰.۶۵ تا ۱.۷۵ cc در بزرگ‌سالان و ۰.۵ تا ۱ cc در کودکان است. حجم کانال گوش در کودکان ممکن است تا حد ۰.۵ cc هم باشد. این مقدار بسته به میزان قرار دادن نوک پروب در کانال یا میزان بزرگی یا کوچکی قطر کانال ممکن است متغیر باشد. زمانی که حجم کانال بزرگ‌تر از میزان معیار باشد، حجم می‌تواند شامل کانال گوش خارجی، فضای گوش میانی و حتی سلول‌های هوایی ماستوئید و دهانه لوله استاش باشد. در حالتی که پرده تمپان سوراخ باشد یا لوله تهویه جا گذاری شده باشد، حجم ۳ یا ۴ برابر بزرگ‌تر از حجم نرمال باشد و اغلب بیشتر از ۵ سی‌سی می‌باشد (شکل ۴). حجم کانال گوش به‌عنوان ابزاری برای رد وجود سوراخ (مخصوصاً سوراخ‌های ناحیه آتیک که قابل‌مشاهده نیستند) و باز بودن لوله تهویه بسیار کارآمد است.



شکل ۴: مقایسه ECV در حالت پرده سالم و سوراخ

به‌وسیله حجم کانال گوش می‌توان علت ثبت نوع B را مشخص کرد: مثلاً اگر در نوع B حجم بزرگ‌تر از ۲ cc باشد نشان‌دهنده وجود سوراخ یا باز بودن لوله تهویه است، و حجم کانال پایین ممکن است مربوط به برخورد پروب به دیواره کانال یا انسداد پروب توسط سرومن باشد.

در جدول ۱ استانداردهای تعیین‌شده برای انواع تایپ و حجم در تمپانوگرام، با ذکر علت به تفکیک آورده شده است

[7] Ear canal volume (ECV)
[8] PVT

جدول ۱: تمپانومتری و حجم کانال در کودکان:

تمپانوگرام	حجم کانال	علت
نوع A	۱-۰٫۸	گوش میانی نرمال
نوع B	کمتر از ۰/۳ ۱-۰٫۸ بیشتر از ۲٫۵	سرومن یا دیواره کانال اوتیت سروز،ناهنجاری های مادرزادی گوش میانی پارگی پرده صماخ یا باز بودن لوله تهویه
نوع C	۱-۰٫۸	فشار گوش میانی منفی؛ عملکرد استاش ضعیف

آستانه‌های آکوستیک رفلکس

از لحاظ آناتومیکی، عضله رکابی از دیواره خلفی حفره گوش میانی به گردن رکابی می‌چسبد. زمانی که عضله رکابی منقبض می‌شود زنجیره استخوانی را به سمت خلف می‌کشد، در نتیجه سبب کاهش کامپلیانس سیستم گوش میانی و همچنین کاهش صدایی که به حلزون می‌رسد می‌شود، از اینرو وظیفه آن حمایت از گوش داخلی در برابر صداهای بلند است. در افراد با شنوایی نرمال دو طرفه آستانه رفلکس آکوستیکی برای محرک تن خالص در سطحی بین ۷۰ تا ۱۰۰ دسی بل HTL[9]و برای محرک عریض باند در سطح ۶۵ دسی بل HTL دیده می‌شود. کمترین سطح شدتی که توانایی ایجاد رفلکس را دارد به‌عنوان آستانه رفلکس برای گوش تحریک‌شده در نظر گرفته می‌شود. رفلکس همان طرفی در ارزیابی کودکان و همچنین برنامه‌های غربالگری بسیار مفید است. و از مزایای دیگر آن حذف تداخلات حاصل از استفاده هدبند در گوشی که آزمون می‌شود است. با توجه به تحقیقات در مورد مقایسه رفلکس همان طرفی و دگرطرفی مشخص شد که آستانه همان طرفی ، ۳ تا ۶ دسی بل بهتر (حساس تر) از دگرطرفی است.

آستانه رفلکس آکوستیک در فرکانس‌هایی مانند ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز انجام می‌شود. بااین‌وجود، پاسخ‌های رفلکس آکوستیک در ۴۰۰۰ هرتز در گوش‌هایی با شنوایی نرمال هم بدون دلیل مشخص غایب است، بنابراین نتیجه‌گیری پاتولوژیک بر اساس نبود رفلکس در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز زیاد معتبر نیست. در بیماران با ضایعه حلزونی آستانه رفلکس آکوستیک در کمتر از ۶۰ دسی بل بالای آستانه تن خالص ثبت می‌شود بنابراین استفاده از آستانه‌های رفلکس تکنیکی ساده

[9] Hearing Threshold Level

و آبجکتیو برای شناسایی ضایعه در حلزون فراهم می‌کند. این ابزار را می‌توان جایگزین بسیار مناسب و عینی برای آزمون‌های سایکوآکوستیکی قضاوت بلندی (مانند ABLB) در کودکان کمتر از ۶ سال به حساب آورد.

اطلاعات تشخیصی قابل‌توجهی را می‌توان از طریق تفسیر رفلکس آکوستیک به‌دست آورد، برای مثال سطح احساس[10] رفلکس آکوستیک ارتباط معکوسی با میزان کم شنوایی حسی عصبی دارد. برای نمونه در کم شنوایی حسی به میزان ۲۰ دسی بل، رفلکس در ۷۰ دسی بل ثبت می‌شود ولی برای فردی با ۸۵ دسی بل کم شنوایی حسی، رفلکس را می‌توان در ۲۵ دسی بل SL ثبت کرد. طبق تحقیقات انجام‌شده مشخص‌شده که اگر میزان کم شنوایی حلزونی کمتر از ۶۰ دسی بل باشد، ۹۰٪ احتمال مشاهده رفلکس آکوستیک وجود دارد، همان طور که میزان کم شنوایی حسی عصبی از ۶۰ دسی بل بیشتر می‌شود، احتمال مشاهده رفلکس آکوستیک کاهش می‌یابد به‌طوری که با رسیدن کم شنوایی به میزان ۸۵ دسی بل احتمال مشاهده رفلکس آکوستیک فقط ۵۰٪ است و همچنین اگر کاهش به‌اندازه ۱۰۰ دسی بل باشد، فقط ۵٪–۱۰ موارد رفلکس قابل‌مشاهده می‌شود.

در بیماران با کم شنوایی یک طرفه حلزونی کمتر از ۸۵ دسی بل، رفلکس آکوستیک دو طرفه به آسانی قابل ثبت است. در کودکان با کم شنوایی انتقالی، رفلکس آکوستیک دگرطرفی فقط در کم شنوایی‌های انتقالی یک طرفه در حد ملایم قابل‌مشاهده است. بااین‌حال در کم شنوایی‌های انتقالی بیشتر از ۳۰ دسی بل، رفلکس آکوستیک دو طرف قابل ثبت نمی‌باشد. در کم شنوایی‌های انتقالی دو طرفه، رفلکس آکوستیک همان طرفی و دگرطرفی هر دو طرف حذف می‌شود. اثبات شده است که وجود ABG کوچک به‌اندازه فقط ۱۰ دسی بل برای حذف رفلکس در ۸۰ درصد موارد در گوش پروب کافی است و گفته می‌شود اگر رفلکس آکوستیک در گوش پروب وجود داشته باشد، وجود کم شنوایی انتقالی در آن گوش غیرممکن است، بنابراین حتی وجود کم شنوایی انتقالی در حد ملایم نیز می‌تواند باعث حذف رفلکس شود.

در جدول ۲ الگوهای رفلکسی احتمالی، ادیوگرام احتمالی و جایگاه ضایعه را آورده شده است.

جدول ۲– تفسیر رفلکس آکوستیک با ادیوگرام برای شناسایی مکان ضایعه

الگوی رفلکس	ادیوگرام	جایگاه ضایعه
رفلکس های تقاطعی و غیرتقاطعی در گوش قابل ثبت نیستند.	ABG دو طرفه	گوش میانی
رفلکس های تقاطعی و غیرتقاطعی در گوش قابل ثبت نیستند.	کاهش حسی شدید دو طرفه	حلزون

[10] Sensation Level

رفلکس های تقاطعی و غیرتقاطعی در گوش قابل ثبت نیستند.	نرمال	ساقه مغز

کاربردهای بالینی ارزیابی‌های ایمیتانس در کودکان

درحالی‌که اجزاء تمپانومتری نظیر ایمیتانس، حجم کانال و آستانه رفلکس در مورد عملکرد سیستم شنوایی اطلاعاتی می‌دهند اما زمانی که به روابط بین آزمون‌ها توجه شود ارتباط معنادار بیشتری فراهم می‌کنند.

جدول ۳- استفاده از ایمیتانس برای کمک به تائید یافته‌های ادیومتری در ارزیابی کودکان جوان

تمپانومتری	استاتیک کامپلیانس	رفلکس آکوستیک	تائید یافته‌های ادیومتری رفتاری
نوع A دو طرفه	دو طرف در محدوده نرمال	دو طرف هنجار	شنوایی نرمال
نوع A در یک گوش و نوع B و C در گوش دیگر	هنجار در گوش A و پایین در گوش B یا C	دو طرف غایب	کم شنوایی انتقالی یک طرفه
دو طرف نوع B یا C	دو طرف پایین	دو طرف غایب	انتقالی دو طرفه

طبق مطالعات انجام‌شده، تمپانومتری نسبت به راه هوایی ادیومتری در کشف پاتولوژی های انتقالی در کودکان بسیار حساس تر است، بااین‌وجود چون تمپانومتری قادر به شناسایی کم شنوایی حسی عصبی نیست از اینرو نمی‌تواند جایگزینی برای ادیومتری تن خالص به‌عنوان تکنیک غربالگری باشد. در نتیجه استفاده از تمپانومتری همراه با ادیومتری تن خالص به‌عنوان بهترین روش برای کشف بیماری های گوش میانی و آسیب های شنوایی در کودکان پیشنهاد می‌شود.

توصیه‌شده است که یافته‌های ایمیتانس به‌هیچ‌وجه به‌تنهایی تفسیر نشوند و باید در کنار سایر ارزیابی‌ها به‌صورت جامع تفسیر شوند. اگرچه استفاده از تمپانومتری در تشخیص مشکلات گوش میانی بسیار مفید است بااین‌وجود، استفاده از آن در کودکان کمتر از ۶ ماه توصیه نمی‌شود، در این محدوده سنی تمپانومتری ویژگی تشخیصی (دقت شناسایی افراد سالم) پایین و نتایج مثبت کاذب بالایی دارد.

طبق مطالعات، اشاره شده است که کالیبراسیون گوشی دگرطرفی به دلیل حجم کوچک کانال در نوزادان و همچنین تفاوت در سطح فشار صوتی ارائه‌شده بین بزرگ‌سالان و کودکان مهم است و تحت شرایط گوشی حتی به بیشتر از ۶ دسی بل هم می‌رسد. باوجودی که در تمپانومتری کودکان، استفاده از پروب تن ۲۲۰ هرتز ارجحیت دارد اما توصیه‌شده برای ارزیابی رفلکس آکوستیک در نوزادان از پروب تن ۶۶۰ هرتز استفاده شود. همان طور که فرکانس پروب تن افزایش می‌یابد، میزان مشاهده رفلکس آکوستیک بیشتر شده درحالی‌که آستانه رفلکس کاهش می‌یابد. با استفاده از حداکثر شدت ۹۵ dB SPL با پروب تن ۲۲۰ هرتز هیچ رفلکسی وجود ندارد درحالی‌که، با استفاده از پروب تن ۸۰۰ هرتز به بالا همه نوزادان رفلکس را نشان می‌دهند. طبق مطالعات انجام‌شده فرکانس پروب مطلوب برای کشف رفلکس آکوستیک در نوزادان، ۱۴۰۰ هرتز است.

گفتنی است که مکانیزم آکوستیک رفلکس ۹ ساعت پس از تولد توانایی عملکرد خود را پیدا می‌کند و می‌توان رفلکس های همان طرفی و دگرطرفی را ثبت کرد.

ملاحظات کاربردی در ارزیابی کودکان

از محدودیت های اصلی ارزیابی ایمیتانس در کودکان جوان، عدم ارزیابی کامل این مجموعه آزمون به دلیل صداسازی مانند صحبت کردن، گریه کردن یا هر ترکیبی از این صدا می‌باشد. انقباض رفلکس آکوستیک و تغییرات لوله استاش در طول صداسازی می‌تواند سبب تغییرات شدید کامپلیانس پرده شود، ازاین‌رو صحت آزمون را کاهش می‌دهد. در ارزیابی کودکان کمتر از ۳ سال، استفاده از دو یا حتی سه کمک آزمونگر برای ارزیابی ایمیتانس بسیار مفید و ضروری است، به این صورت که آزمونگر با ابزار ایمیتانس کار کند درحالی‌که کمک آزمونگر سر کودک را ثابت و پروب را در گوش وی قرار دهد. محدوده سنی بین ۲ تا ۱۲ ماه، از سخت‌ترین دوران ارزیابی آکوستیک ایمیتانس است که می‌توان از تکنیک‌های حواس‌پرت کن برای جلب‌توجه کودک به چیزهای دیگر استفاده کرد. محرک خارجی برای پرت کردن حواس کودک می‌تواند شامل محرک‌های بینایی، شنوایی، لمسی یا ترکیبی از این محرک‌ها باشد. از انواع تکنیک‌های حواس‌پرت کن در کودکان کمتر از ۳ سال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اسباب‌بازی‌های متحرک: به علت سروصدای زیاد بهتر است فقط در مواقع ضروری استفاده شود.
- اسفنج: پشت دست یا پای کودک با گوش پاک کن به ملایمت کشیده شود.
- پاندول: توصیه‌شده طول آن ۱۸ اینچ (حدود ۴۶ سانتی متر) باشد.
- آینه: استفاده از آینه در کودکان بزرگ‌تر از یک سال که قادرند به‌صورت خود واکنش نشان دهند مفید است.
- ساعت: دست‌کاری کردن ساعت جلوی چشمان کودک باعث سرگرم کردن وی می‌شود.
- بند کفش: باز و بسته کردن بند کفش کودک و نیز سرگرمی کودک می‌شود.

هیچ راهی برای پیش‌بینی رفتار یا عکس‌العمل کودک ۱ تا ۳ سال وجود ندارد. بااین‌حال عکس‌العمل کودک تحت تأثیر موارد زیر می‌باشد نظیر:

۱. سابقه قبلی انجام آزمایشات شنوایی
۲. سابقه برخورد با سایر متخصصان بهداشتی
۳. سن کودک
۴. شخصیت
۵. ارزیابی کلی کودک از اتفاقاتی که قرار است بیفتد مانند دردناک بودن آزمون

از اینرو گفته می‌شود که تلاش اول برای انجام آکوستیک رفلکس و ایمیتانس به طور معجزه‌آسایی بهترین تلاش می‌باشد و در بسیاری از موارد پاسخ لازم گرفته می‌شود.

در هنگام ارزیابی کودکان چند قانون اصلی[11] بکار می رود: اول، شنوایی‌شناس نباید هرگز برای انجام ارزیابی از کودک اجازه بگیرد و دوم، از توضیحات اضافی در مورد روش آزمون خودداری شود.

برای بیشتر کودکان بزرگ‌تر از ۳ سال نیاز به تکنیک‌های حواس‌پرت کن نیست مگر اینکه کودک از وضعیت ناآشنا و جدید خود نگران و بیمناک باشد در نتیجه می‌توان برای آنها از یک آزمونگر استفاده کرد. مشاهده دیگر کودکان یا بزرگ‌سالان در حین آزمایش در آرام کردن (کاهش) ترس کودکان می‌تواند بسیار مفید باشد، بنابراین بهتر است از نگاه کودک به والدین در حین آزمون اجتناب نشود چون باعث کاهش استرس و ترس کودک می‌شود.

ایمیتانس در کودکان دچار تا خیر رشدی

بسته به شدت درگیری، بسیاری از کودکان دچار تا خیر رشدی توانایی شرکت در ادیومتری بازی، مکان‌یابی یا ایجاد پاسخ‌های استارتل پایدار را ندارند. تحقیقات نشان می‌دهد که شیوع کم شنوایی در کودکان تأخیری بیشتر از سایر کودکان است. اگرچه گزارش‌هایی مبنی بر متغیر بودن آستانه‌های رفلکس آکوستیک در بین کودکان تأخیری دیده شده است، بااین‌حال مجموعه آزمون آکوستیک ایمیتانس به‌عنوان جز مهمی در ارزیابی شنوایی این کودکان محسوب می‌شود. آسیب های سیستم شنوایی مرکزی اغلب اوقات سبب ایجاد پاسخ‌های الکتروفیزیولوژیک شنوایی نامعتبر می‌شود، ازاین‌رو استفاده از ایمیتانس در این کودکان توصیه‌شده است. ارزیابی دقیق عملکرد شنوایی یا وضعیت گوش میانی در کودکان دچار تا خیر می‌تواند سبب ارجاع و درمان پزشکی مناسب یا کمک به تعیین مکان تحصیلی کودک می‌شود.

[11] Cardinal Rule

آکوستیک ایمیتانس همچنین می‌تواند در کودکان تأخیری شدید که توانایی حرکت و ارزیابی سایر آزمون‌ها را ندارند، مفید باشد. این دسته از کودکان اساساً بسیار مستعد ایجاد اوتیت مدیای مزمن هستند. حتی وجود کم شنوایی ملایم در این کودکان به دلیل کاهش توانایی جبران مرکزی تأثیرات نامطلوبی بر آنان می‌گذارد.

اندازه‌گیری ایمیتانس آکوستیک در کودکان ناشنوای مادرزادی

ارزیابی راه استخوانی در جمعیت های خاص نظیر کودکان مبتلا به کم شنوایی حسی عصبی شدید تا عمیق محدود است، طبق مطالعات از رفلکس آکوستیک می‌توان برای تأیید ABG به دلیل پاسخ‌های لمسی–ارتعاشی از جز انتقالی واقعی بهره جست.

پیش‌بینی کم شنوایی از طریق رفلکس آکوستیک

آستانه رفلکس آکوستیک برای محرک نویز سفید پایین تر از محرک تن خالص است و اختلاف بین این دو آستانه به‌عنوان درجه کم شنوایی حسی عصبی تعیین می‌شود. بر همین اساس جرگر روشی تحت عنوان SPAR[12] را پیشنهاد کرد، بدین‌صورت که آستانه شنوایی راه هوایی را از روی آستانه رفلکس آکوستیکی بتوان پیش‌بینی کرد.

برای این کار ۱۰۰۰ نفر با کم شنوایی حسی عصبی را در چهار گروه نرمال، ملایم، شدید و عمیق تقسیم کرد و اختلاف آستانه راه هوایی در فرکانس ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ هرتز را با آستانه رفلکس آکوستیکی با محرک نویز عریض باند محاسبه کرد که برای کم شنوایی ملایم ۳۳٪ و برای شدید به ۴٪ می‌رسید، با افزایش میزان کم شنوایی تفاوت آستانه شنوایی راه هوایی از آستانه رفلکس آکوستیکی کاهش می‌یافت.

طبق مطالعات جرگر ۳ پیش‌بینی حاصل شد:

۱. اگر تفاوت آستانه تن خالص و نویز پهن باند کمتر از ۲۰ دسی بل باشد و آستانه آکوستیک رفلکس با نویز پهن باند برابر ۹۵ dB spl باشد، افت در حد ملایم تا متوسط می‌باشد.
۲. اگر تفاوت آستانه تن خالص و نویز پهن باند کمتر از ۲۰ دسی بل باشد و آستانه آکوستیک رفلکس با نویز پهن باند بیشتر ۹۵ dB spl باشد، همیشه به‌عنوان کم شنوایی در نظر گرفته می‌شود.

[12] Sensitivity Prediction with Acoustic Reflex

۳. اگر تفاوت آستانه تن خالص و نویز پهن باند بیشتر از ۲۰ دسی بل باشد و آستانه آکوستیک رفلکس با نویز پهن باند برابر ۹۵ dB spl باشد، شنوایی طبیعی است.

پیش‌بینی کم شنوایی از طریق رفلکس آکوستیک تحت تأثیر متغیرهایی نظیر: سن تقویمی[۱۳](با افزایش سن دقت پیش‌بینی کاهش می‌یابد)، ناهنجاری های گوش میانی، شکل ادیوگرام می‌باشد. در مطالعات جرگر، ٪۱۰۰ کودکان با شنوایی نرمال، ادیوگرام نرمال نشان دادند و همچنین حدود ٪۸۵ از کودکان با کم شنوایی شدید به‌درستی تخمین زده شدند. درحالی‌که کودکان با کم شنوایی متوسط میزان دقت پیش‌بینی ٪۵۴ مشاهده شد. در نتیجه مطالعات نشان می‌دهند که در تشخیص کم شنوایی شدید موفقیت بیشتری نسبت به سایر کم شنوایی‌ها داشته باشد. گفته می‌شود که سریع‌ترین ارزیابی آبجکتیو از حساسیت سیستم شنیداری در کودکان سخت آزمون آکوستیک رفلکس است، ازاین‌رو پیش‌بینی کم شنوایی از طریق رفلکس آکوستیک در کودکان سخت آزمون می‌تواند مفید باشد.

گسیل های صوتی گوش

گسیل های صوتی گوش انرژی برگشتی کم شدت آکوستیکی از حلزون هستند که از طریق تجهیزات ویژه در کانال گوش قابل ثبت است، در نتیجه می‌توان گفت OAE فعالیت پیش عصبی است. این انرژی که از سلول‌های مویی خارجی ساطع می‌شود در بعضی موارد به‌صورت خودبه‌خودی هستند ولی در اکثر اوقات با تحریک محرک خارجی ایجاد می‌شوند. کمپ برای اولین بار وجود OAE را با محرک کلیک و ثبت پاسخ‌های آکوستیکی در ۵ ثانیه بعد از ارائه محرک در مجرا گوش را تائید کرد. اختلالات معمول گوش میانی که سبب ایجاد کم شنوایی انتقالی می‌شوند و همچنین کم شنوایی حسی عصبی متوسط به بالا می‌توانند OAE را حذف کنند. بنابراین قبل از انجام OAE، ارزیابی ایمیتانس (تمپانومتری و آکوستیک رفلکس) ضروری می‌باشد.

طبق تحقیقات، دو نوع OAE کشف شد: اولی، به‌صورت خودبه‌خودی[۱۴] و در تقریباً ٪۶۰ افراد با شنوایی نرمال وجود دارد. برای اندازه‌گیری آن هیچ محرکی در کانال گوش ارائه نمی‌شود و به نظر می‌رسد که SOAE ناشی از پاسخ‌های خودبه‌خودی در حلزون می‌باشد. همچنین در یک مطالعه دیده شده است که SOAE در تازه متولدین بین ۲ تا ۵ کیلوهرتز شدتی معادل ۸.۵dB spl و در بزرگ‌سالان شدتی معادل ۲.۵ dB spl در ۱ تا ۲ کیلوهرتز دارد، ازاین‌رو دیده شد که SOAE با افزایش سن کاهش می‌یابد. همچنین از آنجایی که SOAE در همه افراد هنجار وجود ندارد، ابزار بالینی مناسبی محسوب نمی‌شود.

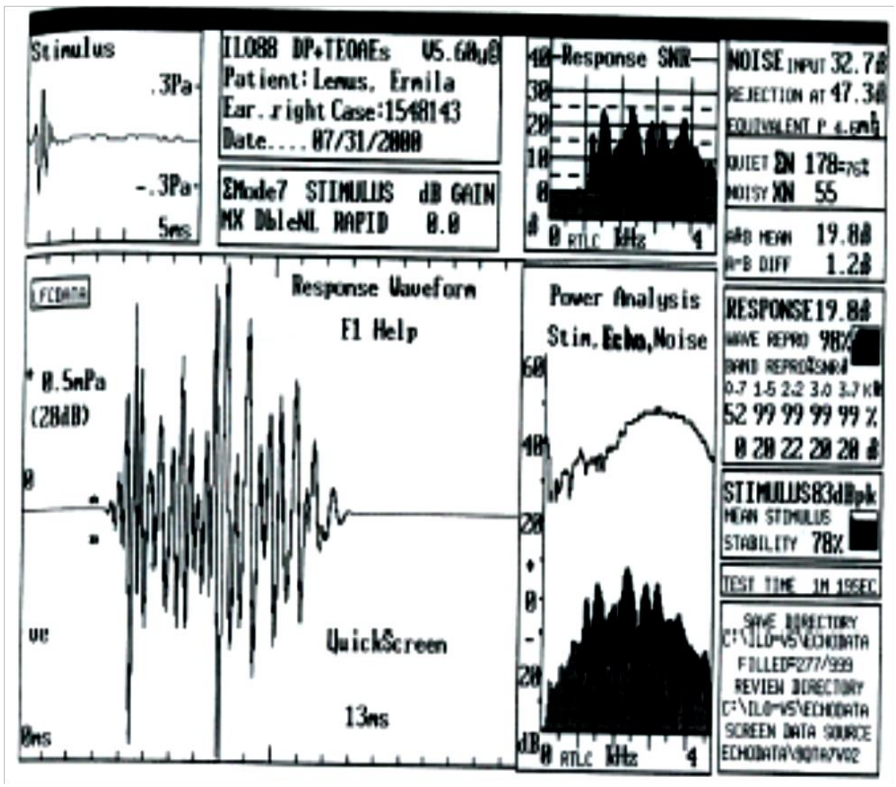
[13] Chronologic age
[14] SOAE

دومین طبقه‌بندی OAE شامل صدای کم شدتی است که توسط ارائه محرک آکوستیکی با شدت پایین تا متوسط ثبت می‌شود. که خود به دو نوع تقسیم می‌شود: گسیل های برانگیخته گذرا[15] و گسیل های صوتی ناشی از اعوجاج[16] که روش ثبت در هر یک متفاوت است.

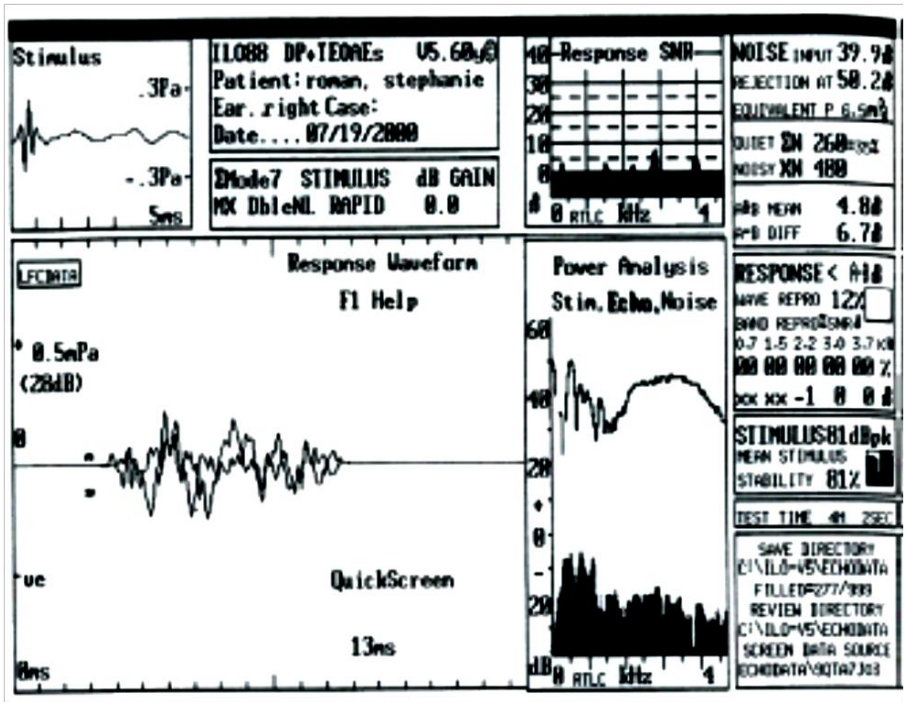
گسیل های صوتی برانگیخته گذرا

پاسخ‌هایی پایدار و دارای پراکنش فرکانسی[17] هستند که در برابر ارائه محرک آکوستیکی مثل کلیک یا تن پیپ در ۴–۱۵ میلی‌ثانیه بعد از ارائه قابل ثبت هستند. TEOAE دارای ثبت و تفسیر آسان است و تنها از یک کانال تحریک استفاده می‌کند که نیاز به تکنولوژی معدل‌گیری همزمانی ارزان تری دارد، برای ثبت استفاده می‌کند و می‌تواند در ۶۰ ثانیه یا کمتر ثبت شود. TEOAE در ارزیابی بالینی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا در تمام موارد گوش های غیرپاتولوژیک با شنوایی بهتر از ۳۰ دسی بل (بدون در نظر گرفتن سن و جنس) دیده می‌شود. از مهم‌ترین فواید آن شناسایی سریع و دقیق شنوایی هنجار از آسیب شوایی است. از معمول‌ترین دلایل فقدان آن در صورت سالم بودن گوش میانی، وجود کم شنوایی حسی عصبی بیشتر از ۳۰–۴۰ دسی بل است. دیده شده است که دامنه TEOAE در نوزادان ۱–۹ ماه افزایش می‌یابد درحالی‌که در محدوده سنی بین ۴–۱۳ سالگی کاهش می‌یابد. اگرچه تخمین آستانه شنوایی از طریق پاسخ TEOAE غیرممکن است ولی می‌تواند در افتراق شنوایی نرمال از آسیب‌دیده مفید باشد. اگرچه الگوهای پاسخ نوزادان نسبت به بزرگ‌سالان به طور ذاتی دارای نویز های فیزیولوژیک بیشتری است، بااین‌وجود در برنامه‌های غربالگری شنوایی و شناسایی کودکان با اختلال نوروپاتی بسیار سودمند هستند.

[15] TEOAE
[16] DPOAE
[17] Dispersive



شکل ۵- نمونه‌ای از گسیل های برانگیخته گذرا(TEOAE) نرمال



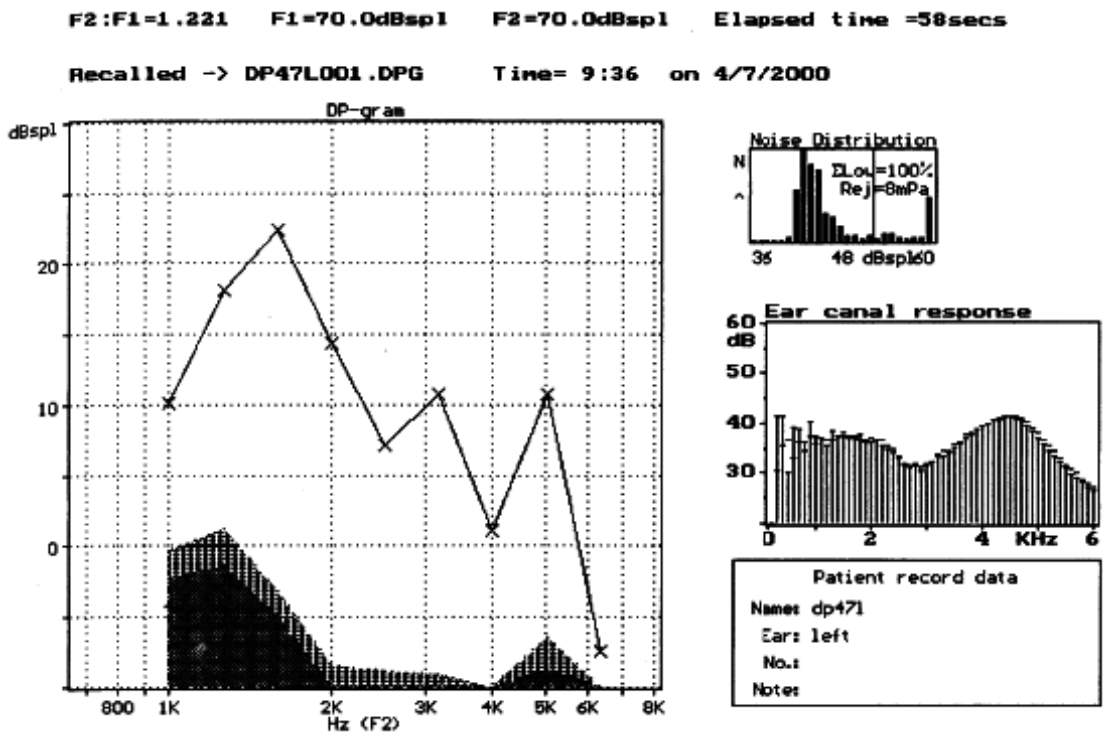
شکل ۶- نمونه‌ای از گسیل های برانگیخته گذرا(TEOAE) ناهنجار

گسیل های صوتی ناشی از اعوجاج حلزونی

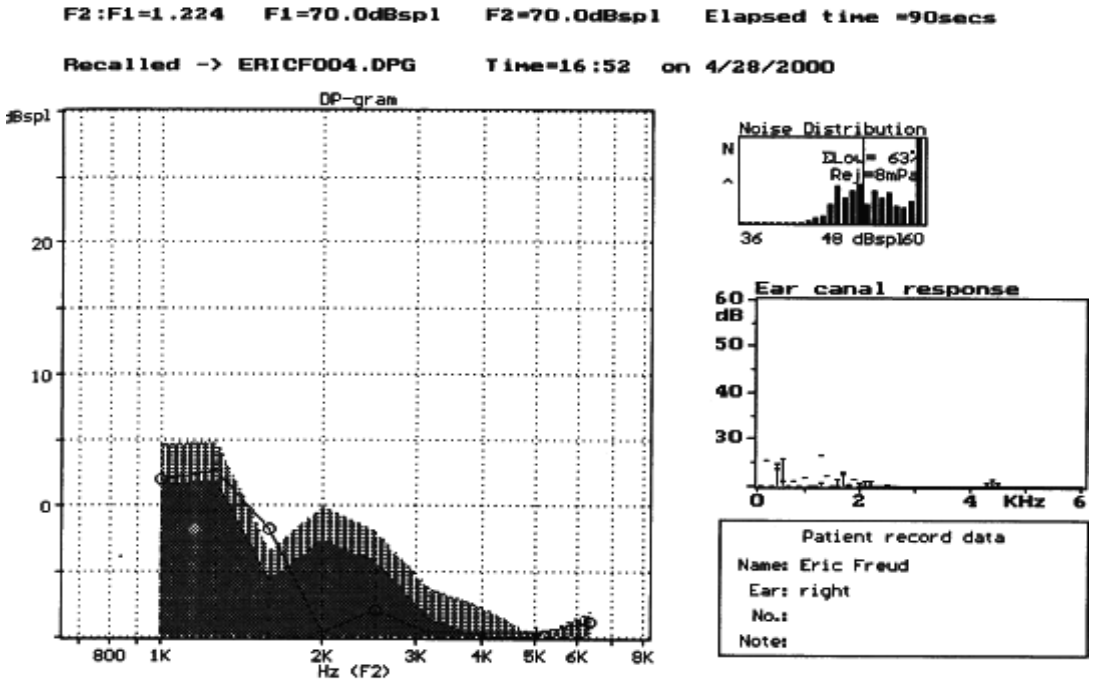
DPOAE ممکن است در کانال گوش زمانی که دو تن خالص متفاوت در فرکانس‌های f1 و f2 به طور همزمان ارائه می‌شوند، کشف شود. پاسخ مورد انتظار در فرکانس‌هایی بین دو فرکانس تحریکی مشخص می‌شود که در کار بالینی 2f1-f2 مورد توجه می‌باشد. اندازه‌گیری DP به ابزارهای پیچیده‌تری با دو کانال تحریکی جداگانه و دو مبدل به‌منظور افزایش سطح سیگنال و تکنولوژی پردازشی پیچیده‌تری نیاز دارد، پس در نتیجه نسبت به TE بسیار پیچیده‌تر است و برای ثبت DP نسبت به TE به زمان بیشتری نیاز دارد. DP همیشه در گوش‌هایی با شنوایی نرمال وجود دارد. مزایای اصلی آن توانایی ارزیابی آبجکتیو به‌صورت ویژگی فرکانس می‌باشد.

از محدودیت های اصلی DP می‌توان به عدم ثبت آن در فرکانس‌هایی با کم شنوایی بیشتر از ۵۰ دسی بل HL اشاره کرد. نتایج DP را می‌توان روی DP-Gram نمایش داد که محدوده فرکانسی آن تقریباً ۵۰۰ تا ۸۰۰۰ هرتز می‌باشد. میزان جدایی سطح نویز زمینه و DP واقعی، نشان‌دهنده حرکت سلول‌های مویی خارجی است، در نتیجه آسیب ساختاری یا عملکردی سلول‌های مویی خارجی می‌تواند سبب حذف OAE شود. اگرچه هیچ استانداردی برای این اندازه‌گیری وجود ندارد، بااین‌وجود دامنه ۳ دسی بل یا بیشتر از نویز زمینه مورد توافق عام می‌باشد و به‌عنوان پاسخ واقعی شناخته می‌شود. طبق مطالعات انجام‌شده زمانی که میزان کم شنوایی در ۱۰۰۰ هرتز بیشتر از ۴۰ dB HL یا زمانی که میانگین آستانه‌های ادیومتر تن خالص در فرکانس‌های ۰.۵ ، ۱، ۲ و ۴ کیلوهرتز بیشتر از ۴۵ دسی بل شود، OAE حذف می‌شود.

جای گزاری مناسب پروب در نوزادان به دلیل وجود نویز زمینه و هم نویز فیزیولوژیک اهمیت بیشتری دارد، در صورت محکم نبودن کاف، امکان کاهش محرک‌های فرکانس‌های پایین وجود دارد. در کودکان بزرگ‌تر معمولاً مشکل خاصی پیش نمی‌آید اما ارزیابی نوزادان و کودکان کم سن، باید از نوعی تکنیک حواس‌پرتی استفاده کرد. راهکارهایی نظیر استفاده از صندلی های راحت که والدین می‌توانند راحت بنشینند و کودک خود را در بغل نگه‌دارند و همچنین تاریک کردن اتاق برای القای خواب کودک می‌تواند در بدست آوردن نتایج OAE در کودکان مفید باشد. بااینکه OAE تحت تأثیر بیهوشی قرار نمی‌گیرد اما به ندرت از آن برای ثبت OAE استفاده می‌شود، مگر اینکه بیهوشی برای انجام آزمون فیزیولوژیک دیگری ایجادشده باشد و در همان زمان OAE نیز ثبت شود.



شکل ۵- نمونه‌ای از گسیل های صوتی حاصل اعوجاج (DPOAE) در افراد هنجار



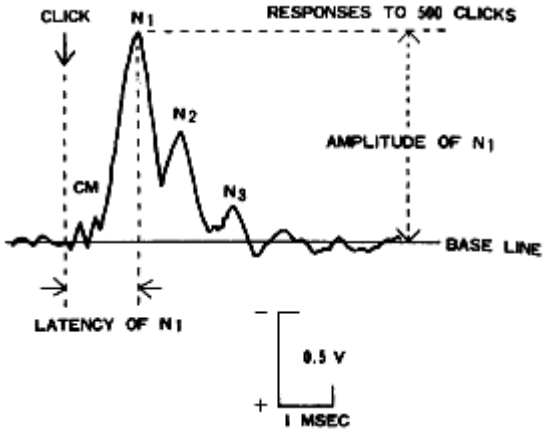
شکل۶- نمونه‌ای از گسیل های صوتی حاصل اعوجاج (DPOAE) در افراد ناهنجار

جنبه‌های بالینی گسیل های صوتی

طبق مطالعات انجام‌شده بیشترین حساسیت TEOAE در ۰.۵ و ۱ کیلوهرتز و در DPOAE در ۴ تا ۶ کیلوهرتز می‌باشد و در صورت ترکیب این دو بیشترین حساسیت در منطقه ۲ و ۳ کیلوهرتز واقع می‌شود، ازاین‌رو در بسیاری از مطالعات به بررسی ارتباط گسیل های صوتی با آستانه‌های ادیومتریک پرداخته شده است و به این نتیجه رسیده‌اند که بیشترین تطابق آستانه ادیومتری با TEOAE در ۱ تا ۲ کیلوهرتز بوده است. درحالی‌که در DPOAE بیشترین حساسیت در ۲ تا ۴ کیلوهرتز است و ضعیف‌ترین حساسیت در فرکانس‌های ۵۰۰ و ۷۵۰ هرتز می‌باشد.

الکتروکوکلئوگرافی

الکتروکوکلئوگرام شامل امواج پتانسیل عمل عصب (AP)، میکروفونیک حلزونی(CM) و پتانسیل تجمعی(SP) می‌باشد. AP آشکارترین و آسان‌ترین جز قابل ثبت الکتروکوکلئوگرام است. AP شامل ایمپالس های عصبی در عصب هشت است که به دنبال CM می‌آید و بزرگ‌ترین موج آن N1 است که اغلب بعد از آن موج‌های کوچک N2 و N3 ظاهر می‌شوند.



شکل ۷: نحوه محاسبه دامنه و نهفتگی امواج ECochG

اخیراً پاسخ AP ترکیبی (Compound) ارزش بالینی زیادی پیدا کرده است و در حدود زمان نهفتگی ۲ میلی‌ثانیه ظاهر می‌شود. پاسخ AP که فعالیت کل عصب شنوایی است، اطلاعاتی در مورد پیچ پایه حلزون و به مقدار کمی پیچ میانی فراهم می‌کند. پاسخ CM نیز از سلول‌های مویی خارجی منشأ می‌گیرد و از شکل موج سیگنال تحریکی تبعیت می‌کند. برای ثبت

آن می‌توان از الکترود در دریچه گرد استفاده کرد. CM هیچ آستانه‌ی مشخصی ندارد، بلکه کمترین محدوده ثبت‌شده در دستگاه را به‌عنوان آستانه در نظر می‌گیرند.

ECochG شاخص الکتروفیزیولوژیک قوی برای یکپارچگی حلزون به شمار می‌آید. به طور مثال، زمانی که پاسخ وجود داشته باشد می‌توان از حداقل باقی‌مانده شنوایی مطمئن شد. برای ثبت ECochG از دو روش، ترانس‌تیمپانیک و اکسترتیمپانیک استفاده می‌کنند. با ثبت ترانستیمپانیک پاسخ‌های بزرگ با نمونه‌گیری‌های کمتر و همچنین به‌دست آوردن تابع ورودی– خروجی برای محرک کلیک در زمان کوتاه حاصل می‌شود. به دلیل تهاجمی بودن روش ترانس‌تیمپانیک، کاربرد های بالینی آن محدودشده است. در ثبت اکسترتیمپانیک، الکترود در مجرا گوش به پرده تمپان می‌چسبد یا خیلی نزدیک به آن قرار می‌گیرد که ممکن است نتایج قابل‌قبولی به‌دست آورد. الکترودهای اکسترتیمپانیک می‌تواند در کودکان با بیهوشی مناسب استفاده شود و ثبت کنونی پتانسیل‌های برانگیخته شنوایی امکان ارزیابی مستقل یا همزمان ABR و ECochG را فراهم می‌کند. بااین‌حال، ECochG کانال گوش اغلب در ارزیابی کودکان استفاده نمی‌شود زیرا تخمین آستانه‌های شنوایی با این روش ممکن نیست و در نتیجه ABR جایگزین آن شده است. استفاده از ABR نیاز به هزینه کمتر، خطر کمتر، تجربه کمتر، راحتی بیشتر بیمار و همچنین اطلاعات بیشتری در مورد تخمین آستانه‌های شنوایی و سیستم شنوایی فراهم می‌کند. بااین‌وجود، گاهی با ABR، شناسایی موج I مشکل است و تحت این شرایط استفاده از ECochG برای مشخص کردن موج I مفید می‌باشد. رابطه‌ی مستقیم بین دامنه ولتاژ ECochG و محل ثبت وجود دارد، به‌طوری که هر چه الکترود به منبع تولید نزدیک باشد، ثبت دامنه بزرگ‌تر می‌شود.

ادیومتری پاسخ‌های برانگیخته شنوایی

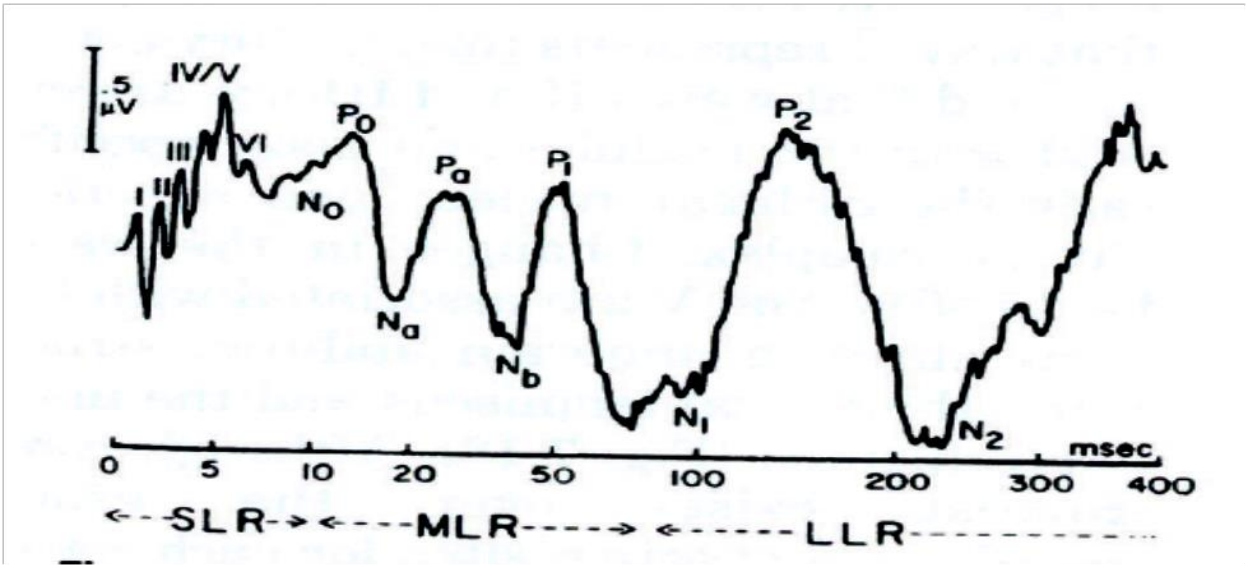
ثبت فعالیت های الکتریکی خودبه‌خودی سیستم عصبی (در غیاب هرگونه محرک حسی) را الکترونسفالوگرام[۱۸] می‌نامند. حال اگر محرکی به سیستم ارائه شود، تغییراتی در الگوی EEG ایجاد می‌شود که به‌عنوان پتانسیل برانگیخته شناخته می‌شود. اگر محرک حسی ارائه‌شده، سیگنال صوتی باشد، پاسخ به وجود آمده را پتانسیل برانگیخته می‌نامند.

به طور معمول اجزای پاسخ بر اساس نهفتگی طبقه‌بندی می‌شوند. براین اساس دیویس پتانسیل‌های برانگیخته شنوایی را به شرح ذیل طبقه‌بندی کرده است (شکل ۸ و جدول ۲)

- جزء اول: صفر تا ۲ میلی‌ثانیه پس از ارائه محرک به وجود می‌آید که شامل پاسخ CM و SP است.

[18] EEG

- جزء سریع: ۲–۱۰ میلی‌ثانیه بعد از ارائه محرک به وجود می‌آید و شامل پاسخ‌های عصب هشتم و ساقه مغز شنوایی(ABRs) می‌باشند.
- جزء میان‌رس: پاسخ‌های میان رس دارای زمان نهفتگی ۸–۵۰ میلی‌ثانیه است که فعالیت تالاموس و قشر شنوایی را منعکس می‌کند.
- جزء آهسته: دارای زمان نهفتگی ۵۰–۳۰۰ میلی‌ثانیه می‌باشد و مربوط به مناطق اولیه و ثانویه قشر می‌باشد.
- جزء دیررس: با زمان نهفتگی بیشتر از ۳۰۰ میلی‌ثانیه که مربوط به مناطق اولیه و مرتبط با قشر شنیداری است.



شکل ۸– نمایش پاسخ‌های شنوایی بر اساس نهفتگی (SLR: پاسخ‌ها با نهفتگی کوتاه، MLR: پاسخ‌ها با نهفتگی میانی و LLR: پاسخ‌ها با نهفتگی طولانی)

Response Latency Classification	Site of Origin	Response Waveform	Response Latency (msec)	Amplitude (μV)
Electrocochleography	Auditory nerve	Fast	1–5	0.1–10
Early	Brainstem	Fast	4–8	0.001–1
Middle	Brainstem/primary cortical projection	Fast	8–50	1.0–3
Late	Primary cortical projection and secondary association areas	Slow	50–300	8.0–20
Very late	Prefrontal cortex and secondary association areas	Very slow	300 and greater	20–30

جدول ۲– طبقه‌بندی پاسخ‌های شنوایی بر اساس نهفتگی

دامنه پاسخ‌های برانگیخته شنوایی وابسته به شدت محرک است، به‌طوری که با افزایش شدت، زمان نهفتگی کمتر و دامنه بیشتر می‌شود و هر چه سطح شدت محرک به سمت آستانه نزدیک می‌شود، تفکیک پاسخ‌های برانگیخته شنوایی از فعالیت های بیولوژیک بسیار سخت است. کاربرد های بالینی پاسخ‌های برانگیخته شنوایی بسیار متنوع است و شامل ارزیابی شنوایی، بینایی و حسی‌پیکری و همچنین پایش حین عمل، آستانه گیری شنوایی، ارزیابی‌های تشخیص جایگاه ضایعه می‌باشد. از پاسخ‌های برانگیخته شنوایی در بسیاری از اختلالات شنوایی و نورولوژیک نظیر اوتیسم، کم‌توان ذهنی، نابینا–ناشنوا، هیدروسفال و مننژیت استفاده می‌شود.

پاسخ‌های برانگیخته ساقه مغز

این پاسخ‌های برانگیخته[19] دارای نهفتگی ثابت و پایدار هستند و ۱۰ میلی‌ثانیه پس از ارائه محرک دیده می‌شوند و دارای الگوی ویژه‌ای با ۷ موج مثبت هستند که موج VI و VII همیشه دیده نمی‌شوند، در نتیجه آزمایشگران بیشتر بر موج‌های ۱ تا ۵ تمرکز می‌کنند. موج V بیشتر اوقات جز غالب الگوهای پاسخ است و اغلب موج IV که به‌صورت کمپلکس IV-V دیده می‌شود. نهفتگی هنجار هر موج، یک میلی‌ثانیه طولانی تر از شماره هر موج در نظر گرفته می‌شود، به‌طوری که موج I، دارای

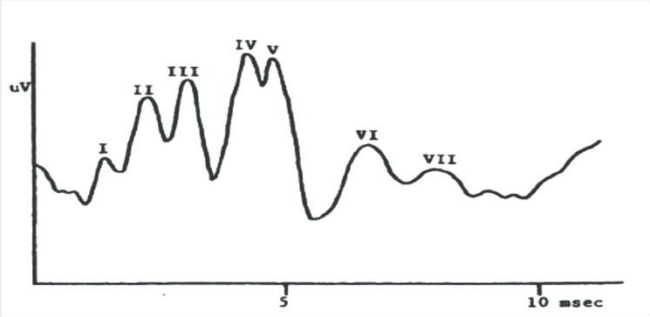
[19] ABR

نهفتگی ۲ میلی‌ثانیه و موج V دارای نهفتگی ۶ میلی‌ثانیه است. اگرچه دامنه موج تحت تأثیر عوامل بسیاری است، بااین‌حال نهفتگی موج بسیار پایدار است. منشأ امواج ABR به ترتیب شامل:

موج I: عصب شنوایی

موج II و III: بصل النخاع و پل(بویژه هسته‌های حلزونی و مجموعه زیتونی فوقانی)

موج IV و V: ساختارهای شنوایی مغزمیانی، نوار جانبی(LL) و کولیکولوس تحتانی(IC)



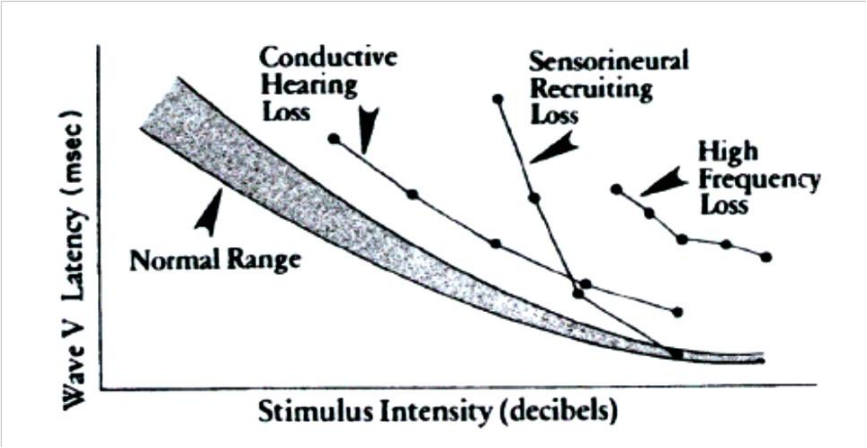
شکل ۹- نمایش دیاگرام پاسخ‌های شنوایی ساقه مغز

در کل نمی‌توان تنها یک ساختار عصبی خاص را مسئول تولید هر موج دانست و مسلماً شکل موج کلی ABR تحت تأثیر مشارکت چندین مولد عصبی قرار دارد. اعتبار ABR توسط تکرار آزمون و مقایسه بین دو گوش تائید می‌شود. به خاطر اینکه ABR تحت تأثیر وضعیت هوشیاری قرار نمی‌گیرد و امکان ارزیابی در خواب یا بیداری وجود دارد، ازاین‌رو در ارزیابی کودکان بسیار ارزشمند است. آزمون ABR اطلاعاتی در مورد شناسایی محل ضایعه در راه‌های شنوایی ساقه مغز (نظیر تومورهای عصب شنوایی)، ارزیابی عملکرد شنوایی در بیماران با سکته یا ضربه، ارزیابی شنوایی نوزادان، پیش‌بینی حساسیت شنوایی در کودکان سخت آزمون، مقایسه آستانه شنوایی با سمعک و بدون سمعک، ارزیابی بدعملکردی نورولوژیک و اختلالات پردازشی سیستم مرکزی شنوایی فراهم می‌کند.

باید مد نظر داشت که استفاده از گوشی داخل گوشی در نوزادان برای جلوگیری از کولاپس و کم شنوایی انتقالی کاذب توصیه می‌شود.

پارامترهای ABR

در الکترودگذاری ABR از کف‌سر[۲۰] به ماستوئید همان طرف یا نرمه و از ماستوئید طرف مقابل به‌عنوان زمین استفاده می‌شود. معمولاً برای برانگیخته شدن ABR از محرک کلیک استفاده می‌کنند، بااین‌حال از مشکلات آن به عدم ویژگی فرکانسی می‌توان اشاره کرد. طیف انرژی محرک کلیک توسط ویژگی رزونانس گوشی و دیرش کلیک مشخص می‌شود. به دلیل ناتوانی در ویژگی فرکانسی کلیک، ABR بیشتر اطلاعات شنوایی بین فرکانس‌های ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰ هرتز را منعکس می‌کند. استفاده از روش‌هایی نظیر تن پیپ، کلیک فیلتر شده یا روش‌های مختلف پوشش برای جبران ویژگی فرکانسی می‌تواند مفید باشد، هر چند استفاده از این محرکات باعث طولانی شدن زمان آزمون می‌شود. افزایش در شدت محرک ABR، باعث کاهش در نهفتگی و افزایش در دامنه محرک می‌شود. رابطه بین شدت و نهفتگی توسط تابع شدت- نهفتگی مشخص می‌شود.



شکل ۱۰: مقایسه تابع شدت نهفتگی در افراد با شنوایی هنجار و افراد با کم شنوایی‌های مختلف

بر اساس الگوی این تابع می‌توان پیش‌بینی تشخیصی در مورد نوع و شکل کم شنوایی به عمل آورد. تابع شدت- نهفتگی معمولاً برای موج‌های I-III-V رسم می‌شود. این امر نشان می‌دهد که فاصله بین موجی در تمام محدوده شدتی ثابت است. در کودکان بزرگ‌تر و بزرگ‌سالان، فاصله بین موجی I-III حدود ۲ میلی‌ثانیه و فاصله بین موجی III-V حدود ۲ میلی‌ثانیه، بنابراین فاصله بین موجی I-V حدود ۴ میلی‌ثانیه در نظر می‌گیرند. در شدت بالای محرک (۸۰ دسی بل HL یا بزرگ‌تر) همه پنج موج در افراد نرمال به وضوح قابل دیدن هستند. بااین‌حال همان طور که شدت محرک کاهش می‌یابد، شناسایی موج‌های I، II و IV بسیار دشوار است. زمانی که شدت محرک به نزدیک آستانه برسد، اغلب فقط موج V در پاسخ دیده می‌شود. ABR به کم شنوایی محیطی فرکانس بالا و اختلالات مرکزی حساس است و این شرایط می‌تواند تفسیر امواج را با مشکل روبه رو کند. آستانه ABR با محرک کلیک با آستانه‌های ادیومتری در فرکانس‌های ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ هرتز بسیار نزدیک است اما در فرکانس‌های ۱۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز این همخوانی کاهش می‌یابد.

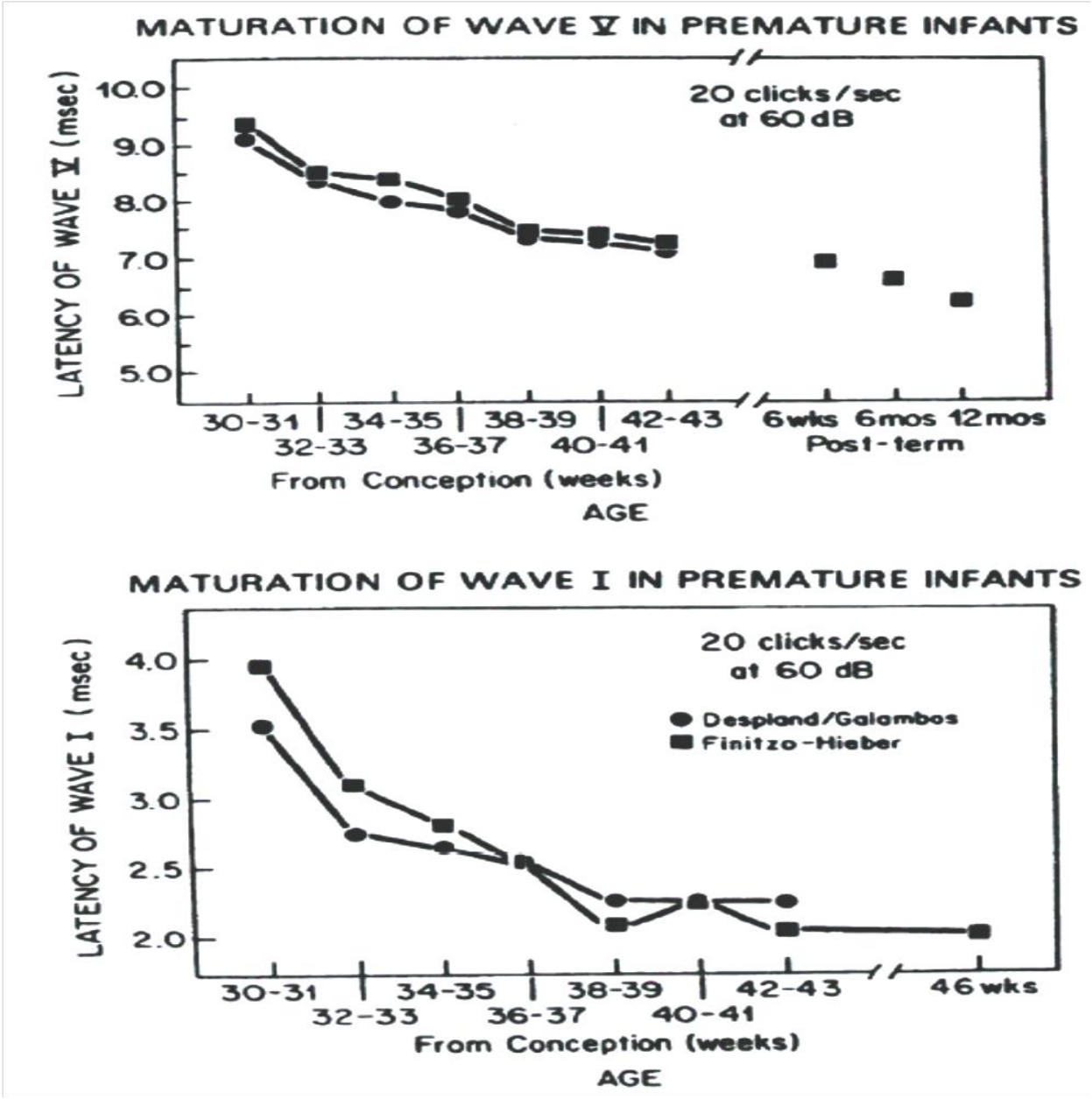
[20] vertex

تابع شیب‌دار شدت– نهفتگی ABR مربوط به شکل کم شنوایی می‌باشد به‌طوری که بیماران با کم شنوایی حسی عصبی فرکانس بالا شیب تندتری (Steeper Slope) نسبت به بیماران با کم شنوایی مسطح یا هنجار دارند. افزایش در ارائه سرعت[۲۱] محرک کلیک باعث افزایش در نهفتگی و کاهش در دامنه پاسخ موج ABR می‌شود. معمولاً تا سرعت ارائه ۳۰ کلیک بر ثانیه، دامنه موج ۵ تغییر محسوسی نمی‌کند اما با افزایش ارائه به ۱۰۰ کلیک بر ثانیه، در حدود ۱ میلی‌ثانیه بر نهفتگی آن افزوده می‌شود.

بلوغ امواج ABR

طبق مطالعات انجام‌شده در نوزادان پاسخ‌های ساقه مغز در صورت بلند بودن محرک در هفته ۲۸ بارداری قابل‌شناسایی است. بااین‌وجود، متغیرهای بسیار زیادی در تفسیر نقش دارد، به‌ویژه در نوزادان نارس که شکل موج متأثر می‌شود. کالیبراسیون شدت محرک می‌تواند عامل مهمی در تغییرات قله و نهفتگی بین قله‌ای باشد. بین سنین ۱۸ ماهگی و ۲۵ سالگی، تغییرات کوچکی در نهفتگی یا دامنه ABR دیده می‌شود. بسیاری از معیارهای شکل موج در ABR شامل: نهفتگی مطلق موج ۱ و ۵، تابع شدت– نهفتگی، فاصله بین موجی ۱–۵ و نسبت دامنه موج ۵ به ۱ می‌توانند در شناسایی آسیب های شنوایی و تمایز بین اختلال شنوایی محیطی از پاتولوژی های داخل جمجمه‌ای مفید باشند. ارزیابی دقیق نوزادان به معیارهای جداگانه‌ای مطابق با سن هر گروه نیاز دارد. شکل امواج در نوزادان نارس در هفته‌های ۲۸–۳۰ جنینی، برای اولین بار قابل رویت است. بااین‌وجود، هنگام مقایسه با نوزادان کامل[۲۲] نهفتگی بیشتر شده و آستانه‌ها افزایش می‌یابند. بلوغ ABR تا ۱۲–۱۸ ماهگی (هفته ۳۸–۴۰ بارداری) بعد از بارداری کامل نمی‌شود.

[21] Rate
[22] Full-term



شکل ۱۱- نمایش بلوغ امواج I و V

حال اگر کودک نارس به دنیا بیاید، توجه به نکات زیر ضروری است:

- قبل از ترخیص کودک از بیمارستان، با در نظر گرفتن عوامل متعددی که می‌توانند پاسخ را متأثر کنند، باید در هنگام آزمون، نوزاد حداقل در سن ۳۷ هفتگی از دوران بارداری باشد.

- در این کودکان هرگز نباید به انجام یک آزمون اکتفا کرد. ضروری است تا در فواصل زمانی بعد از تولد نیز آزمون تکرار شود تا احتمال بهتر یا بدتر شدن وضعیت شنوایی کنترل شود. توصیه‌شده کودکان در معرض خطر[۲۳]، طی سال اول تولد حداقل هر ۳ ماه یک بار تحت آزمون ABR قرار گیرد.

همان طور که سن افزایش می‌یابد، زمان نهفتگی کاهش می‌یابد. نهفتگی موج ۵، با افزایش سن حداقل در ۱۸ ماهگی کاهش می‌یابد، درحالی‌که تغییرات کوچک یا هیچ تغییری در موج ۱ تا این محدوده سنی دیده نمی‌شود. تحریک دو گوشی در ارزیابی ABR کودکان بسیار مفید است. تحریک دو گوشی با کلیک، شکل موجی تولید می‌کند که از نظر دامنه تقریباً ۱.۵ بار بزرگ‌تر از تحریک تک گوشی است، بااین‌حال نهفتگی موج‌ها برای تحریک یک گوشی و دو گوشی یکسان است. روش تحریک دو گوشی برای ارزیابی آستانه شنوایی مناسب است.

از مشکلات اصلی در ارزیابی ABR در بیشتر کودکان در محدوده سنی ۶ ماه تا ۴ سال این است که کودک لازم است در طی آزمایش بی‌هوش شود. در کل، نتایج ABR نمی‌تواند به تنهایی تفسیر شوند و باید به همراه نتایج سایر ارزیابی‌های بالینی استفاده شود. در نتیجه استفاده از اصل کراس چک در تفسیر اطلاعات می‌تواند بسیار مفید باشد.

سن	کاندیداهای قطعی	کاندیداهای ممکن
نوزاد(۰ تا ۲ ماهگی)	شرایطی که منجر به NICU، خطر بالا، مننژیت و رد شدن در غربالگری شنوایی	
نوزادان(۳-۲۳ ماه)	مننژیت، آترزی مادرزادی، اوتیت مدیا پایدار با ترشح، اتوتوکسیک، گفتار تا خیر یافته، شک والدین به کم شنوایی	آپنه عودکننده، ناتوانی در پیشرفت، کودکان اوتیسم، کودکان با تا خیر رشد
کودکان ۲۴ ماه به بالا	ناتوان ذهنی، اختلالات احساسی، ناتوانی یادگیری، مننژیت و مشکوک شدن به ضایعه ورای حلزونی	اوتیسم، تاخیرات رشدی، کم شنوایی حسی عصبی ناگهانی و پیشرونده

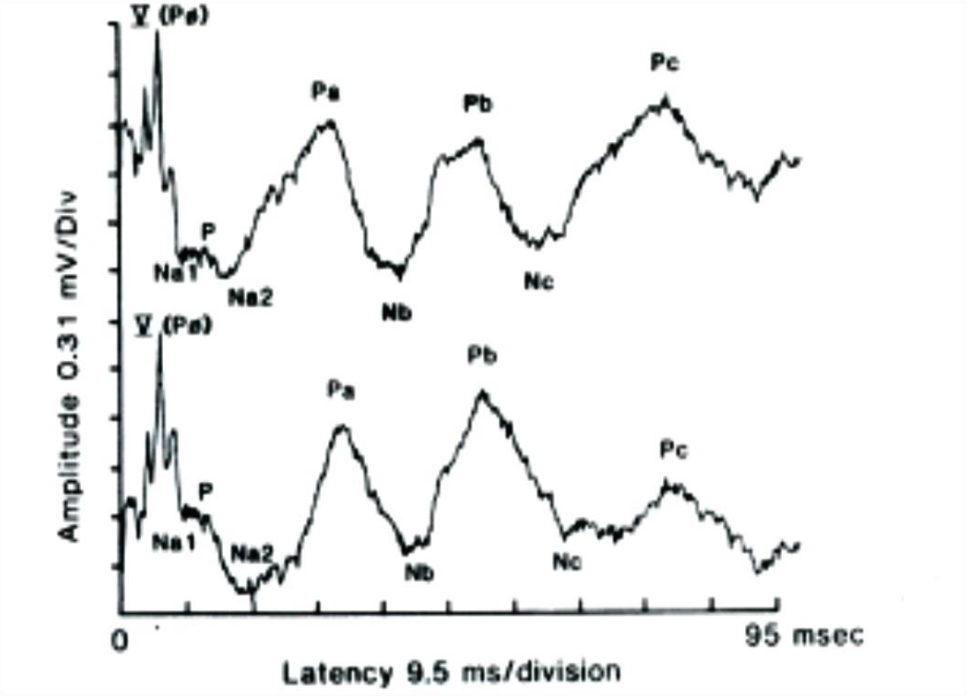
جدول ۳: کاندیدای کودکان برای آزمون ABR.

[23] High risk

پاسخ‌های برانگیخته شنوایی میان‌رس

نهفتگی قله‌های پاسخ‌های برانگیخته شنوایی میان‌رس[24] بین ۱۲ تا ۶۰ میلی‌ثانیه بعد از ارائه محرک یافت می‌شود. باوجودی که در مورد منشأ امواج اتفاق‌نظر وجود ندارد، اما به نظر می‌رسد که تشعشعات شنوایی از مناطق تالامیک[25] و قشر اولیه شنوایی در لوب تمپورال مسئول تولید پاسخ باشند.

در پاسخ MLR دو قله مثبت (P0 با نهفتگی ۱۲ میلی‌ثانیه و Pa با نهفتگی ۳۲ میلی‌ثانیه) و سه فرورفتگی منفی (N0، Na و Nb که به ترتیب با نهفتگی های ۸، ۱۸ و ۵۸ میلی‌ثانیه) دیده می‌شود.



شکل ۱۲: MLR نرمال

مطالعات نشان می‌دهند که بین آستانه‌های MLR و رفتاری تطابق دیده می‌شود و ممکن است به‌عنوان شاخص حساسیت شنوایی در نظر گرفته شوند. دامنه MLR به شدت تحت تأثیر خواب و سطح هوشیاری قرار می‌گیرد به‌طوری که کشف موج Pa در طول خواب بسیار ضعیف می‌شود. کودکان کم‌سن تر معمولاً برای ارزیابی نیاز به بیهوشی دارند که در این صورت باعث محدود شدن کاربرد MLR در ارزیابی کودکان می‌شود. از پاسخ‌های MLR در کنار آزمون ABR می‌توان در تخمین آستانه فرکانس‌های پایین(۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز) استفاده کرد. بااین‌وجود، به دلیل عدم ثبات در کشف MLR در کودکان، فقدان

[24] MLR
[25] Auditory Radiation

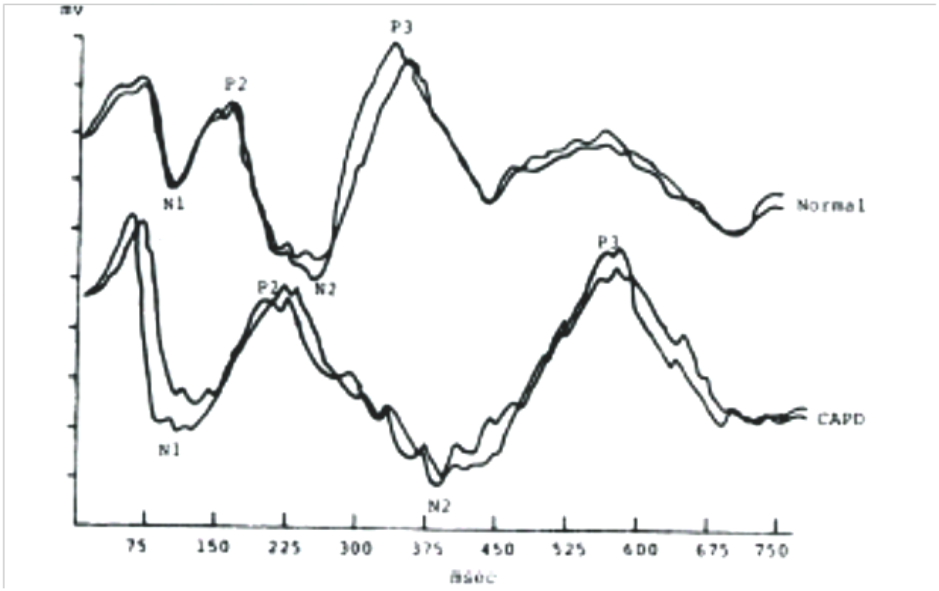
آن دال بر وجود کم شنوایی فرکانس پایین نمی‌باشد. اگرچه اندازه‌گیری ABR تغییرپذیری کمتری نسبت به MLR نشان می‌دهد، در چندین مورد باوجود کم شنوایی، MLR ثبت شد، درحالی‌که هیچ ABR ثبت نشد. منشأ نورولوژیکی ABR و MLR با یکدیگر متفاوت هستند، در نتیجه کاهش همزمانی عصبی می‌تواند باعث فقدان ABR شود اما MLR فرکانس پایین را متأثر نکند.

طبق مطالعاتی که انجام‌شده، MLR به‌عنوان غربالگری شنوایی نوزادان ناموفق بود. به نظر می‌رسد که ثبت MLR در نوزادان فقط در سرعت های ارائه پایین محرک ممکن است. در کل برای آستانه گیری، ABR مناسب تر از MLR است و همچنین برای ارزیابی اختلالات نورولوژیک و اختلالات پردازش شنیداری مرکزی، استفاده از MLR توصیه می‌شود.

پاسخ‌های شنوایی دیررس

با استفاده از پاسخ‌های شنوایی دیررس[۲۶] آستانه‌های شنوایی به‌دست آمده در محدوده ۲۰ دسی بلی از آستانه‌های رفتاری شنوایی حاصل می‌شود. متأسفانه پتانسیل دیررس به وضعیت هوشیاری فرد و پارامترهای تحریکی بسیار حساس است ازاین‌رو استفاده از این پتانسیل‌ها در کودکان محدودشده است. پاسخ‌های برانگیخته قشری ناشی از فعالیت های الکتریکی عمومی بر روی قشر است زیرا ارائه محرک‌های حسی متفاوت شامل نور، صدا و محرک ارتعاشی لامسه‌ای می‌تواند پتانسیل‌های برانگیخته وسیعی در طول ۳۰۰ میلی‌ثانیه به دنباله ارائه محرک از قشر مغز تولید کند. پتانسیل‌های قشری دیررس به دلیل ارتباط با مناطق درکی و تفاوت های بین نیمکره‌ای و همچنین کاربردهایی در نورولوژیک و روان‌پزشکی مورد توجه قرارگرفته‌اند. یکی از این موج‌ها، P300 است که در مورد پردازش مغزی اطلاعاتی در اختیار می‌گذارد.

[26] Late AEP



شکل ۱۳: LLR نرمال