

「人工内耳について」

慶應義塾大学医学部 耳鼻咽喉科学 教授 小川 郁先生

平成 21 年 10 月 25 日(日) 東京都障害者福祉会館

高齢社会と聴覚障害

超高齢化社会をむかえて高齢者の聴覚障害が問題となっています。聴覚障害をもつ高齢者はコミュニケーション能力の低下によって社会的に孤立する傾向があります。群馬県のある地域の高齢者を対象とした疫学調査では、聴覚障害をもつ高齢者が鬱になりやすいという結果が得られました。特に男性は聞こえなくなると、社会的なコミュニティに参加しなくなります。女性は聞こえなくても、出て行く人が多いのですが。男性はこもりがちで、鬱になりやすいともいわれています。また、認知症が進む可能性も指摘されており、単に聞こえだけではない複雑な問題ということが出来ます。

団塊の世代が高齢者になっていく超高齢化社会で、10年後に難聴者は900万人くらいになるという予測もあります。生活上での支障を持つ難聴者が増えるということです。人工内耳が適応になる高度難聴者も10万人くらいに増えるのではないかといわれます。日本では人工内耳装用者は、いま6000人くらいですから、10万人の適応者というのは大変な数といえます。こうした予測もありますので、人工内耳がどういうもので、難聴をどう克服させるかを理解することは重要なことだと思います。

聴覚障害のある偉人

聞こえない方で、最も有名なのはヘレンケラーさんですね。彼女は聞こえないだけではなくて、目も見えない、聞こえないことによって話ができないという、三重苦で有名です。この方が自伝のなかで、「耳が聞こえないことは、目が見えないことより、より深刻で複雑である。かけがえのない刺激である人間の声、つまり、言語をもたらす思考のきっかけとなる音声は伝わってこないからだ」と述べています。現代社会では、情報の90%が視覚の情報と言われますが、聴覚の情報はその裏側に言語や思考がある、その意味で視覚より複雑な問題といえます。彼女は、もし一つだけ機能を戻してもらえたら聞こえるようになりたい、一度でいいから母親の声を聞いてみたいと、述べています。このように、難聴は精神面でも重要な問題をはらんでいます。

ベートーベンが聞こえなくなったことも有名です。彼の難聴の原因としては蝸牛型耳硬化症や自己免疫難聴、内耳梅毒などが考えられていますが、30歳くらいからだんだん悪くなって、交響曲の6番「田園」を作る頃にはほとんど失聴しています。ベートーベンの時代に人工内耳があったら、彼はもっと画期的な交響曲10番をかきあげただろうと思います。彼も難聴を苦しんで、遺書を書いて一度は自らの命を絶とうとしています。ここからも、聴覚が精神的に非常にインパクトの大きい感覚だと言えると思います。

聴覚の仕組み

耳の穴から、鼓膜までを外耳といいます。鼓膜の奥に音を増幅して伝える中耳があります。中耳炎が起こったりするのはここです。中耳の奥の内耳には音を感じるセンサーの細胞があり、このセンサーからの情報が脳に伝わって言語や音楽として認識されるわけです。

蝸牛という内耳の器官が、人工内耳の機能を理解するうえで重要なポイントになります。内耳はかたつむりのような形にとぐろを巻いています。この中にピアノの鍵盤があると考えてください。音が入ってくると、音の周波数によって一番振動するところ、つまりピアノの鍵盤が叩かれる場所ができます。この叩かれるところに、音を感じるセンサー細胞である有毛細胞という毛の生えた細胞があり、その細胞が活動することで音として認識されるわけです。

聴力検査の結果では、70dBがひとつの目安で、両方の耳が70dBより小さい音が聞こえなくなると、身体障害者に該当します。補聴器がないと会話がなりたないレベルです。

難聴の種類

鼓膜に穴が開いてしまい、音がうまく伝わらない難聴を伝音難聴と呼びます。鼓膜の奥には3つの耳小骨があり、これら耳小骨の音の伝わりが悪くても伝音難聴になります。伝音難聴は完全ではないのですが、手術的な方法によって治すことができます。白内障で、目のレンズを取り替えれば見えるようになるのと同様に、新しい鼓膜をつくったり、耳小骨のつながりをつくりかえて音の伝わりをよくしてあげればいいのです。ですから、伝音難聴に対しては我々も対処のしようがあるといえます。

ところが、感音難聴は、内耳の中のセンサー細胞である有毛細胞から脳に信号が伝わるまでの経路のどこかの異常によって生じる難聴です。感音難聴も、突然聞こえなくなる急性の場合には一部治るものもありますが、慢性的になると治すことができないというのが現状です。内耳を囲んでいる骨は、人間の骨の中では一番硬い骨です。硬い骨に守られている器官ですが、逆に、それだけガードが固いから治療も難しくなります。

有毛細胞には内有毛細胞と外有毛細胞の2種類がありますが、外有毛細胞には自分で伸び縮む運動をする能力があります。例えば、会話に必要な1000Hzの音が入ってきますと、1000Hzを担当する外有毛細胞は1000Hzの速さで運動する。1000Hzは大変な速さで、1秒間に1000回伸び縮みを繰り返すことになります。我々の耳は2万Hzまで聞くことができるので、2万Hzを担当している外有毛細胞は、何と1秒間に2万回も動くわけです。これだけ早く動ける細胞は、体内ではこの外有毛細胞だけです。これが動けなくなると、聞こえの感度が悪くなります。毛が抜けたり、毛が折れたりすると頭の毛と同じようにもう治りません。

難聴の原因

ある日突然に聞こえが悪くなる病気を突発性難聴といいます。ほとんどの場合片方の耳だけですので、人工内耳の対適応にはなりません。歌手の浜崎あゆみさんが「片方聞こえなくなりました」と言って、突発性難聴が有名になりました。僕があちこちの講演で、「こういう病気があるからご注意ください」と言ってもなかなか広がらないですが、こういう有名な方が一言いうと、日本中に病名が知られます。この病気の一部はステロイドの治療によって回復する可能性があります。毛が抜ける前に、抜けないようにする治療です。

問題は慢性的な感音難聴です。加齢による加齢性難聴や騒音性難聴などです。大きな騒音を動物に聞かせる実験をしてみると、耳の毛がだんだん抜けていきます。若い方が大きな音をデジタル音楽再生器で聞いていますが、ああいう大音量での音楽の聴き方をずっとしていると、こういう状態になる可能性があります。ストマイ難聴というものもあります。ストレプトマイシンという抗生物質によるものです。最近ではシスプラチンという抗がん剤の副作用で聞こえなくなることもあります。遺伝子異常が起る遺伝性難聴も知られていますが、難病に指定されている特発性進行性感音

難聴も一部は遺伝子の異常によるものといわれます。

人工内耳をつける方には、特発性進行性感音難聴の人も多いです。お子さんの先天性難聴では半分くらいが、難聴遺伝子を持っているといわれています。特発性進行性感音難聴の方でも血液をとって遺伝子を調べると、難聴遺伝子を持っていることが多いということがわかりました。

将来的には、難聴を起こさないように予防する遺伝子治療も考えられています。あるいは、京都大学の山中先生が見つけた iPS 細胞を使って内耳の壊れた細胞を作っていくこともできるでしょう。慶応大学の研究室でも、自分の骨髄の幹細胞をとって、有毛細胞を作ることができれば、慢性感音難聴でも聞こえるようになるかもしれないと研究をしています。しかし、今のところ、きれいな毛の生えた有毛細胞を作るのは非常に難しく、再生医療によって内耳の感覚系を治すのは未だ難しいという状況です。

補聴器と人工中耳

治せないとすれば、リハビリテーション、つまり機能を補うことになります。補聴器も 50 年~60 年ぐらい前に真空管で作られてから、今は耳のなかにすっぽりとする小さいものまで、大きく進歩しています。ちなみに米国のクリントン元大統領は、若いときにジャズ音楽をやりすぎて難聴になったそうです。小さな補聴器を使っていました。小さくてテレビでも気付かなかった方が多かったようです。ただ、補聴器は音を大きくして、その大きな音を痛んだ内耳の少なくなった有毛細胞で聞くことになりますので、内耳の働きが悪ければその効果も小さいことになります。内耳の働きが悪いまま音を大きくしても、言葉の解像度は十分には上がりません。また、聞きたい言葉だけではなく周りの騒音も大きくなるなど、うまくいかない点もあります。

補聴器の問題点を改良していく一方で、人工中耳という医療機器も出てきています。これは補聴器を体の中に埋め込むことで、より快適に聞こえるように開発されています。補聴器に比べると音の歪みが小さく、音がクリアに聞こえるということです。耳の中にドラム状のものを入れて、耳小骨を動かすことで音を大きくします。ただ、人工中耳は補聴器と同じなので、保険がきかないため、現時点では経済的な問題からも広く普及するには至っていません。

補聴器や人工中耳では、最終的には内耳に残っている有毛細胞で音を拾うことになり、この有毛細胞が一定数以上壊れてしまえば、いくら音を大きくしてもうまく聞こ

えません。このような場合に人工内耳の出番になります。現在、多くの人工臓器が臨床で使われていますが、人工内耳は一番成功している人工臓器といわれています。

人工内耳の効果

補聴器でほとんど聞きとれない方が人工内耳によって、電話で話ができるレベルまで回復する可能性があります。生まれながらの先天性難聴で、従来ならろう学校に入って、読唇と手話で会話をするように教育を受けるお子さんでも、人工内耳を使って普通学級での教育が可能になることがあるところまで進んでいます。

人工内耳は開発されてまだ 20 数年ですが、世界中では 16 万人くらいの難聴者に使われています。日本ではまだ 6000 人という状態です。

人工内耳は、内耳の中に電極を埋め込みます。有毛細胞は壊れていますから、有毛細胞を刺激しても聞こえるようになるのは難しい。有毛細胞からの情報を脳に送るのは蝸牛神経です。有毛細胞が壊れても多くの場合、蝸牛神経とその細胞体であるらせん神経節細胞は機能していますので、このらせん神経節細胞を、電極を使って直接刺激するものが人工内耳です。もし、蝸牛神経が壊れていると人工内耳でも聴力回復は難しくなり、その場合には脳幹インプラントという方法が開発されています。脳幹の音を伝える蝸牛神経核という細胞に電極をつけるものです。脳幹インプラントは現在、世界中で 1000 人以上の方が使っているといわれますが、日本ではまだ数名です。人工内耳と比べると言葉を聞き取る力がそれ程向上しないといわれ、このことが脳幹インプラントの普及を妨げている原因です。

人工内耳は、成人になって使う場合と、生まれながらの先天性難聴で使う場合の二つに分かれます。成人では、中途失聴者が対象になります。生まれてから聞こえないまま成人になった場合は、人工内耳を埋め込んでも、言葉を聞き取れるようになるのは難しいです。それは、音を言葉として認識するのは、耳ではなくて脳だからです。生まれながらの難聴で手話を覚えて成人になった方の言語中枢は視覚とつながっています。手話での手の動き、あるいは唇の動きを見て、言語として認識する。視覚中枢から言語中枢に神経のネットワークができあがっています。ですから、20 歳とか 30 歳くらいになって人工内耳で聴覚の刺激を与えても、聴覚中枢と言語中枢との間のネットワークができません。そのため人工内耳の有効性を期待することは難しいことになります。

一方、先天性難聴のお子さん場合はまだ言語中枢が出来上がっていません。視覚中枢と言語中枢とのネットワークや聴覚中枢と言語中枢とのネットワークができる前の段階で人工内耳を埋め込んで、聴覚刺激から言葉の認識のトレーニングをしていけば言葉を習得することができます。脳の言語中枢ができあがるのが、5-6歳頃だといわれます。そのまえに人工内耳を入れて、言葉を覚えさせる教育とリハビリをしていけば、聴覚中枢から言語中枢へのネットワークがうまくできあがるわけです。

人工内耳のしくみ

耳から「あいうえお」の音が入ります。「あいうえお」の中にはそれぞれの言葉に特徴的な周波数情報があって、これをフォルマントといいます。それぞれの言葉には特徴的な周波数が決まっていて「う」という音が入ってきたときに、その周波数に対応する内耳に埋め込んだ電極に電気を流すと「う」と聞こえることになります。他の電極の組み合わせで「お」と聞こえたり、「あ」と聞こえたりします。入ってきた音を瞬時に周波数分析して、刺激する電極を決めていきます。日本で使われている3社の人工内耳は同じコンセプトです。音の分析のしかたや電極の刺激方法は、コード化法と言い、機種によって違います。例えば、アドバンスト・バイオニクス社の場合には、ハイレゾ音声処理方式という方法が開発されています。

手術では、内耳の堅い骨に小さな穴を開けて電極を挿入します。2時間から、人によっては4時間くらいかかります。電極の先に機械があり、これが側頭部に埋め込まれています。埋め込まれたところには、このボタンのようなものを外側から皮膚を通して磁石でくっつけるわけです。それが情報を、皮膚を通して埋め込まれた受信器に送り込んで、電極を刺激するわけです。

人工内耳の課題

人工内耳の選択は難しく、埋め込んだ後に聞こえが悪いから、ほかの会社の機種に入れ替えるというわけにはいかないことです。その方にとって厳密に最適なものを見つけるのは難しいのですが、全体として術後の成績を比較するといずれも遜色のない効果が期待できるといえます。

成人の場合、90dB以上の高度難聴の方が多く適応となります。90dB以上は身体障害者でいうと3級以上になります。最近は難聴がそれよりも軽度でも補聴器によっ

て十分に会話ができない場合には、人工内耳を入れたほうが良いという流れになっています。ビデオのこの方は私が手術させていただいた方ですが、彼女は携帯電話を使って会話ができるまで回復しています。携帯電話をあてる場所が普通の方と違うのは、耳の後ろにマイクロフォンが装着されているためです。今はお子さんの人工内耳も増えています。前にもお話ししましたように言語中枢が出来上がる前に、人工内耳を埋め込むことが大切です。

手術した全員が 100%近くまで言葉を聞き取れるようになるわけではありません。人によっては 30%くらいの語音弁別にとどまる方もいらっしゃいます。ただ、人工内耳を使うようになってから言葉の聞き取りもだんだん良くなっていきます。人工内耳からの音で脳がトレーニングされていけば、言葉の聞き取りもだんだん良くなっていくわけです。人工内耳の埋め込み自体は難しい手術ではありませんが、そのあとのトレーニングが非常に大切なんです。

手術費用に関しては所得によっても違いますが、日本では保険や法による支給体制ができていて、欧米に比べると自己負担額は少ないといえます。機械を含め 400 万円もかかる医療費が、中間所得層の場合でも 13 万円くらいの個人負担になります。

手術に関するリスク、あるいは入れた後に MRI という検査が受けられないなどの問題もあります。ただ、最近の人工内耳は MRI 検査もできるように対応が変わってきています。ほかにも耳につけるケーブルがわずらわしい、補聴器と同じように騒音があるところでは言葉の聞き取りがうまくいかないという問題などがあります。

人工内耳の今後

今後の人工内耳では、このような問題点を解決するような方策が考えられています。ひとつは近い将来使用可能になるといわれるフルインプラント、つまりすべてを体内に埋め込む機種です。今は頭皮にマイクロフォンが付いていますが、これも含めて全部埋め込んでしまおうとするものです。また、残っている内耳の働きを活用しながら、なおかつ人工内耳で有効に神経を刺激していく方法も考えられています。将来的にはさらに開発が進んでいくと思います。電極は良い成績であればそのあとに入れ替えする必要はないと思います。音声信号を処理するシグナルプロセッサの性能が良くなればこの部分を交換していくことになると思います。以上、人工内耳を中心にお話しさせていただきました。ご清聴ありがとうございました。