حاسة السمع هي أهم الحواس التي أنعم الله سبحانه و تعالى علينا بها.
لقد من الله تعالى علينا بنعمة السمع و ذكر ذلك في كتابه الكريم في آيات كثيرة جاءت فيها نعمة السمع مقدمة على نعمة الإبصار. فما أكثر من نبغ رغم فقدانه لنعمة البصر، و ما أقل من بلغ ذلك ممن فقد نعمة السمع.

يقول الله تعالى في الآية 78 من سورة النحل:
{ والله أخرجكم من بطون أمهاتكم لا تعلمون شيئا و جعل لكم السمع و الأبصار و الأفئدة لعلكم تشكرون.}
و في الآية 23 من سورة الملك:
{ قل هو الذي أنشأكم و جعل لكم السمع و الأبصار و الأفئدة قليلا ما تشكرون.}

فلنحمد الخالق سبحانه و تعالى ولنشكره على نعمة السمع، و من شكره أن نسخر هذه الحاسة لسماع ما يفيدنا في دنيانا و آخرتنا، و أن نجنب أنفسنا سماع ما يضر و لا ينفع.

1- أساسيات السمع و الصوت

<u>الصوت</u>

حينما تصفق بيديك فإن ذلك يسبب زيادة في ضغط الهواء عند جزيئاته الملاصقة ليدك فتتحرك تلك الجزيئات قليلا لتخبط جاراتها مسببة زيادة في ضغط الهواء عندها. ولكن سرعان ما تعود الجزيئات الأولى إلى مكانها التي تحركت منه، وذلك لأنها حينما تحركت من مكانها تركت هناك فراغا تسبب في إنخفاض

ضغط الهواء. و يشبه ذلك حركة بندول (نواس) الساعة في تحركه يمينا و يسارا حول وضعه الرأسي. أي أن زيادة ضغط الهواء يتبعه إنخفاض و هلم جرا عند جارات الجزيئات الأولى و جارات جاراتها. و هذا ما تعلمناه من أن الصوت هو تضاغط يتبعه تخلخل مما يسبب اهتزاز الهواء. علما بأن جزيئات الهواء تتحرك فقط حول مكانها و لكنها لا تتركه. و يتسبب إنتقال تتابع زيادة ضغط الهواء و انخفاضه إنتشار الصوت على شكل موجة و التي تسمى الموجة الصوتية. هذا و إن الموجة الصوتية هي موجة طولية لأن انتشار طاقة الصوت يتم في اتجاه مواز للاتجاه الذي تهتز فيه جزيئات الهواء حول مكانها.

علما بأن تغير ضغط الهواء الجوي الناشئ عن الصوت هو تغير طفيف جدا بالنسبة لضغط الهواء المعتاد.

إذا ينشأ الصوت نتيجة إهتزاز في الوسط المحيط بمصدر الصوت سواء كان ذلك الوسط صلدا أو سائلا أو غازا. و نتذكر تجربة الجرس و الناقوس و أن صوت الجرس تحت الناقوس يتلاشى حين تفريغ الهواء تحت الناقوس. و على ذلك فإن الصوت لا ينتشر إلا حين وجود وسط يمكنه الإنتشار فيه.

إذا ينشأ الصوت نتيجة لاهتزازات قد تحدث في جسم صلد مثل الطبل أو غازيا مثل الهواء في الناي أو سائلا مثل هدير المياه.

ضغط الصوت

هو التغير الطفيف في ضغط الهواء الجوي الناشئ عن الصوت ويرمز له ض. و وحدته باسكال و تساوي نيوتن/متر مربع.

التردد

يطلق على عدد الإهتزازات أو الذبذبات في الثانية اسم التـــردد. و يطلق على وحدة التردد اسم العالم الألماني هرتز. فمثلا إذا كان عدد الإهتزازات أو الذبذبات مائة في الثانية يكون التـــردد مائـــة هرتز.

طول موجة الصوت

كما سبق فإن الصوت ينتشر على هيئة موجة و تسمى المســافة بين المكان الذي عنده قمة لضغط الصوت و المكان الذي يليـــه و عنده أيضا قمة لضغط الصوت، تسمى هذه المسافة طول موجـــة الصوت.

سرعة إنتشار الصوت

يطلق على سرعة إنتشار موجة الصوت في الوسط اسم ســـرعة الصوت. و تختلف سرعة الصوت في الهـــواء بـــاختلاف درجـــة حرارة الهواء طبقا للمعادلة التالية:

سرعة الصوت = 331.45 + 0.6 ح [متر/ثانية] (1-1)

حيث

ح درجة حرارة الهواء [درجة مئوية]

فسرعة الصوت عند 20 درجة مئوية=331.45+0.6 X 20 = 343.45 [متر/ثانية]

وهناك علاقة رياضية بسيطة تربط بين سرعة إنتشـــار الصـــوت و تردده و طول موجته و هي:

سرعة الصوت = التردد X طول موجة الصوت (2-1)

عند درجة حرارة الهواء 20 درجة مئوية يكون طول موجة صوت تردده 1000 هرتز 0,34 متر تقريبا. بينما يكون طول موجة الصوت عند نفس درجة حرارة الهواء 20 درجة مئوية 3,4 سنتيمتر وذلك لتردد مقداره 10000 هرتز.

منسوب ضغط الصوت

يعرف منسوب ضغط الصوت بواسطة النسبة الخوارزمية (اللوغاريتمية) بين ضغط الصوت و ضغط الصوت المرجعي ض$_0$ و الذي يساوي 2×10^{-5} [باسكال] .

منسوب ضغط الصوت م $_{ض}$ = 20خو(ض/ض$_0$) [ديسيبل] (3-1)

حيث :

خو هو الخوارزم (اللوغاريتم) للأساس 10

ض = ضغط الصوت [باسكال]

ض$_0$ $= 2 \times 10^{-5}$ [باسكال]

ديسيبل هو وحدة منسوب الصوت.

إستخدام الخوارزم المأخوذة من أصل نسبة العالم الفذ الخوارزمي إلى بلد مولده خوارزم بدلا من الكلمة المحرفة من قبل الأوروبيين اللوغاريتم هو إعادة الحق إلى نصابه.

إن من نقل كلمة لوغاريتم تعريبا من اللغات الأوروبية لم يدر أنها مأخوذة من إسم العالم العبقري الخوارزمي أول من ابتكر علم الجبر و اسمه أبو عبد الله محمد بن موسى الخوارزمي (انظر الحاشية عنه في آخر الكتاب). و يلاحظ أن منسوب ضغط الصوت

يسمى كذلك لأن فيه ينسب ضغط الصوت ض إلى مستواه المرجعي ض$_0$. تماما مثل ما تنسب الإرتفاعات إلى مستوى سطح البحر فنقول منسوب مياه النيل للدلالة على إرتفاع مياهه نسبة إلى مستوى سطح البحر.

طاقة الصوت

هي الطاقة الحركية (الميكانيكية) التي تسبب الإحساس بالسمع و كغيرها من أنواع الطاقة فوحدتها جول (مع النطق العربي الصحيح و ليس باللهجة المصرية).

يعرف منسوب طاقة الصوت بواسطة النسبة الخوارزمية (اللوغاريتمية) بين الطاقة الصوتية لمصدر الصوت ط و بين طاقة الصوت المرجعية ط$_0$ و التي تساوي 10^{-12} جول.

منسوب طاقة الصوت م $_{ط}$ = 10خو(ط/ط$_0$) [ديسبل] (4-1)

قدرة الصوت

هي الطاقة الصوتية التي يصدرها مصدر الصوت في الثانية، و وحدتها وات.

يعرف منسوب قدرة الصوت بواسطة النسبة الخوارزمية (اللوغاريتمية) بين القدرة الصوتية لمصدر الصوت و بين قدرة الصوت المرجعية و التي تساوي 10^{-12} وات.

منسوب قدرة الصوت م $_{ق}$ = 10خو(ق/ق$_0$) [ديسبل] (5-1)

حيث ق = قدرة الصوت [وات]

و $ق_0 = 10^{-12}$ [وات]

الأذن البشرية فائقة الإحساس فتسمع أصواتا قدرتها صغيرة جدا. إن منسوب قدرة الصوت الكامن في ضوضاء بكاء الطفل الصغير يعادل 60 ديسيبل أ. هذا المنسوب يكافئ طبقا للمعادلة السابقة :

$$60 = 10 \text{ خو } (ق/10^{-12})$$

أي أن ق = 10^{-6} وات. أي جزأ على مليون وات. و ليتضح صغر قدرة الصوت هذه فإن قدرة المصباح الكهربي المعتاد هي 60 وات. فرغم صغر قدرة الصوت الكامنة في ضوضاء بكاء الطفل الصغير إلا أنه يسمع في البيت كله.

<u>شدة الصوت</u>

شدة الصوت هي قدرة الصوت المارة عموديا عبر وحدة المساحة. و وحدتها وات/متر مربع و يرمز إليها بالحرف ش.

و شدة الصوت التي يبدأ عندها الإنسان الشاب السليم في الإحساس بالسمع تبلغ 2 x 10^{-12} وات/متر مربع عند التردد 1000 هرتز.

بينما تبلغ شدة الصوت الصادرة عن متكلم بصوت معتاد 10^{-4} وات/متر مربع أي جزأ من عشرة آلاف وات/متر مربع .
أما الصوت الذي تبلغ شدته 1 وات/متر مربع فإنه شديد جدا بحيث يمكنه إصابة المستمع إليه بالصمم التام أي فقدان حاسة السمع بدون رجعة.

منسوب شدة الصوت م ش = 10 خو (ش / ش ٠) [ديسيبل] (6-1)

حيث

ش = شدة الصوت [وات / متر مربع]

ش ٠ = 10^{-12} [وات / متر مربع]

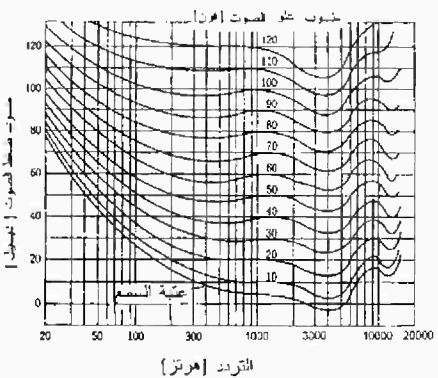
أي أن منسوب شدة الصوت عند التردد 1000 هرتز الـذي يبـدأ عنده الإنسان الشاب السليم في الإحساس بالسمع هو :

10 خو (2 x 10^{-12} / 10^{-12}) = 3 [ديسيبل]

انظر منحنى عتبة السمع في الشكل التالي.

<u>منحنيات الصوت ذو العلو المتساوي</u>

تختلف حساسية الأذن البشرية باختلاف التردد. و لذا فإن كلا من المنحنيات بالشكل التالي تعطي منسوب ضغط الصـوت لتـرددات مختلفة إلا أن الأذن البشرية تسمعها بنفس العلو.



إحساس الأذن البشرية بالسمع

يستطيع الإنسان السوي أن يسمع الأصوات التي يقع نطاق ترددها بين 16 هرتز و 20000 هرتز وذلك هو النطاق السمعي البشري المعتاد لمن هو في مقتبل العمر و لا يعاني من ضعف بحاسة السمع. و يطلق على أقل منسوب لضغط الصوت يمكن سماعه عتبة السمع ويختلف ذلك المنسوب باختلاف التردد. و بعد تجاوز سن العشرين تقريبا تبدأ حاسة السمع تضعف عند الترددات المرتفعة تدريجيا. فتكون أعلى ترددات مسموعة 15000 هرتز ثم 14000 هرتز و هكذا.

و لكن مع تعرض الشباب لسماع الموسيقى الصاخبة التي يفوق منسوب ضغطها 90 ديسيبل أ فإنهم يصابون بضعف السمع بسرعة تتناسب مع تكرار سماعهم للأصوات الصاخبة و منسوب ضغطها.

و يشكل المنحنى للقيمة 120 فون حد الألم وهو الحد الذي يجب تجنبه. و كل ما زاد عن ذلك يشكل خطرا كبيرا مسببا لفقدان كلي لحاسة السمع.

إحساس السمع عند الحيوان

خلق الله تعالى للحيوانات إحساس سمع مرهفا، فبعضها تسمع ترددات صوتية لا يسمعها الإنسان. للخيل مقدرة على سماع الأصوات التي ينخفض ترددها عن 16 هرتز، و لذا فتستطيع الخيل إكتشاف وقوع الهزات الأرضية المعروفة بالزلازل فتصهل منذرة بقدومها، لأن الزلازل تحدث إهتزازات يقل ترددها عن 16 هرتز أي تحت النطاق السمعي للإنسان.

و الكلاب يمكنها سماع الأصوات التي يعلو ترددها عن 20000 هرتز أي فوق النطاق السمعي البشري، فنرى الشرطة التي تستخدم الكلاب تناديها بواسطة صفارة خاصة لا يستطيع اللص أو المتسلل عبر الحدود سماعها، بينما يسمع الكلب صفيرها المكون من إهتزازات ترددها يزيد عن 20000 هرتز.

منسوب علو الصوت

يعرف منسوب علو الصوت و الذي وحدته [فون] بأنه يساوي رقميا منسوب ضغط الصوت عند التردد 1000 هرتز. أي أن الصوت الذي يكون منسوب ضغطه 80 ديسيبل و تردده 1000 هرتز فإن منسوب علوه 80 فون.

ويجب ملاحظة أن الأذن البشرية لا تسمع صوتا منسوب علوه 80 فون كأنه أعلى مرتين من صوت منسوب علوه 40 فون. و لمراعاة ذلك استحدث تعريف علوية الصوت ووحدته [سون]. وذلك بحيث أن الصوت الذي منسوب علوه 40 فون له علوية صوت مقداره 1 سون. والصوت الذي مقدارها 2 سون تسمعه الأذن البشرية أعلى مرتين من الصوت الذي علوه 1 سون.
و يعطي الجدول التالي قيم منسوب علو الصوت و قيم علويته.

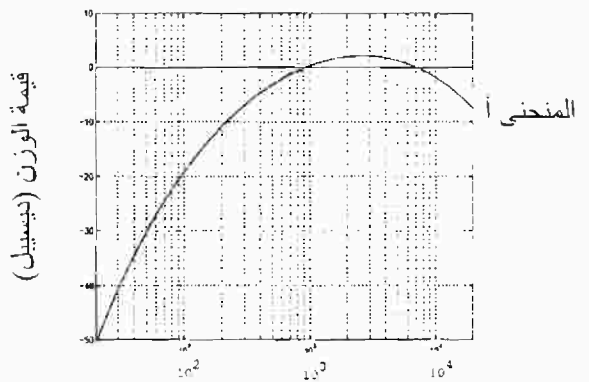
منسوب علو الصوت (فون)	علوية الصوت (سون)
40	1
50	2
60	4
70	8
80	16
90	32
100	64

و يلاحظ أنه بزيادة منسوب علو الصوت بمقدار 10 فون صارت علوية الصوت الضعف.

ديسيبل أ

لصعوبة إستخدام الفون و السون قياسا و حسابا أستحدثت و حدة ديسيبل (أ) لمنسوب ضغط الصوت الموزون. المنحنى أ هو منحنى يقارب منحنى الصوت ذو العلو المتساوي لقيمة 40 فون أي يراعي إختلاف حساسية الأذن البشرية بإختلاف التردد. و يتم وزن منسوب ضغط الصوت طبقا للمنحنى أ و معنى ذلك أن منسوب ضغط الصوت عند كل تردد يعدل [يوزن] تبعا لقيم المنحنى أ. وبهذا تراعي قيم منسوب ضغط الصوت المقاسة بوحدات ديسيبل أ إختلاف حساسية الأذن البشرية في سماعها للترددات المختلفة.

الشكل التالي يعطي المنحنى أ.



و لتوضيح ذلك فإن منسوب ضغط الصوت غير الموزون (أي كما يقاس بواسطة جهاز قياس منسوب ضغط الصوت بدون إستخدام منحنى الوزن أ) ذو قيمة 40 ديسيبل عند تردد 200 هرتز حين يعدل (يوزن) تبعا للمنحنى أ تصبح قيمة منسوب ضغط الصوت الموزون 29.1 ديسيبل أ. و ذلك لأن قيمة الوزن عند التردد 200 هرتز تساوي – 10.9 ديسيبل.

مرشحات الصوت

لمراعاة حاسة السمع عند الإنسان و إختلاف حساسية الأذن عند الترددات المختلفة فإن أغلب المرشحات الصوتية المستخدمة في قياس الضوضاء هي التي تعطي المنحنى أ.

و لكن هناك نوعين آخرين من المرشحات يستخدمان أيضا في قياسات الضوضاء.

مرشح ضعف التردد (الأوكتاف) ومرشح ثلث ضعف التردد

حين القيام بدراسة تفصيلية للضوضاء يحتاج الأمر إلى تقسيم نطاق الترددات. و يسمى نطاق الترددات الجزئي المحصور بين تردد و ضعفه (أوكتاف) و هي كلمة لاتينية مشتقة من رقم 8 . و في السلم الموسيقي المكون من النغمات : دو$_1$ ، ري، مي، فا، صول، لا، سي، دو$_2$ نسبة تردد دو$_2$ إلى دو$_1$ هي 2 إلى 1 . أي أن تردد النغمة الثامنة في السلم الموسيقي هو ضعف تردد النغمة الأولى.

التردد الوسطي لمرشح ضعف التردد هو المتوسط الهندسي للرقمين الدالين على الحد الأدنى و الحد الاعلى لنطاق ترددات

المرشح. مثلا المرشح الذي تردده الوسطي 1000 هرتز الحد الأدنى لتردده هو 710 هرتز و الأعلى 1420 هرتز. و من المعروف أن المتوسط الهندسي للرقمين أ و ب هو الجذر التربيعي لحاصل ضربهما.

أما مرشح ثلث ضعف التردد فإن نسبة الحد الأعلى لتردده إلى الحد الأدنى هي $2^{3:1}$ أي 1,26 ، فمثلا مرشح ثلث ضعف التردد الذي تردده الوسطي 1000 هرتز الحد الأدنى لتردده هو 891 هرتز و الأعلى 1122 هرتز.

الجدول التالي يعطي مقدار وزن المنحنى أ عند الترددات الوسطى لمرشح ثلث ضعف التردد.

التردد الوسطى لمرشح ثلث ضعف التردد هرتز	مقدار وزن المنحنى أ ديسيبل
16	-56,7
20	-50,5
25	-44,7
31,5	-39,4
40	-34,6
50	-30,2
63	-26,2
80	-22,5
100	-19,1
125	-16,1
160	-13,4
200	-10,9
250	-8,6
315	-6,6
400	-4,8
500	-3,2
630	-1,9
800	-0,8
1000	0
1250	+0,6
1600	+1,0
2000	+1,2
2500	+1,3
3150	+1,2
4000	+1,0
5000	+0,5
6300	-0,1
8000	-1,1
10000	-2,5
12500	-4,3
16000	-6,6
20000	-9,3

المعادلة التالية تعطي قيمة المنسوب الموزون بالمنحنى أ بدلالة مناسيب طيف الصوت عند الترددات الوسطى لمرشح ثلث ضعف التردد.

$$م = 10 \text{ خو } [\ 10^{(10/م_1)} + 10^{(10/م_2)} + ... + 10^{(10/م_ع)}\ ]$$

حيث :

م = منسوب الصوت الموزون بالمنحنى أ ديسيبل (أ)

$م_1$ و $م_2$ ..... إلى $م_ع$ هي المناسيب الموزونة بالمنحنى أ لطيف الصوت عند الترددات الوسطى لمرشح ثلث ضعف التردد المراد جمعها و ع هو عددها.

فعلى سبيل المثال إذا كان منسوب طيف الصوت عند التردد الوسطى لمرشح ثلث ضعف التردد 500 هرتز هو 40 ديسيبل قبل الوزن، فيكون بعد الوزن = 40 – 3,2 = 36,8 ديسيبل (أ).

الأصوات الموسيقية

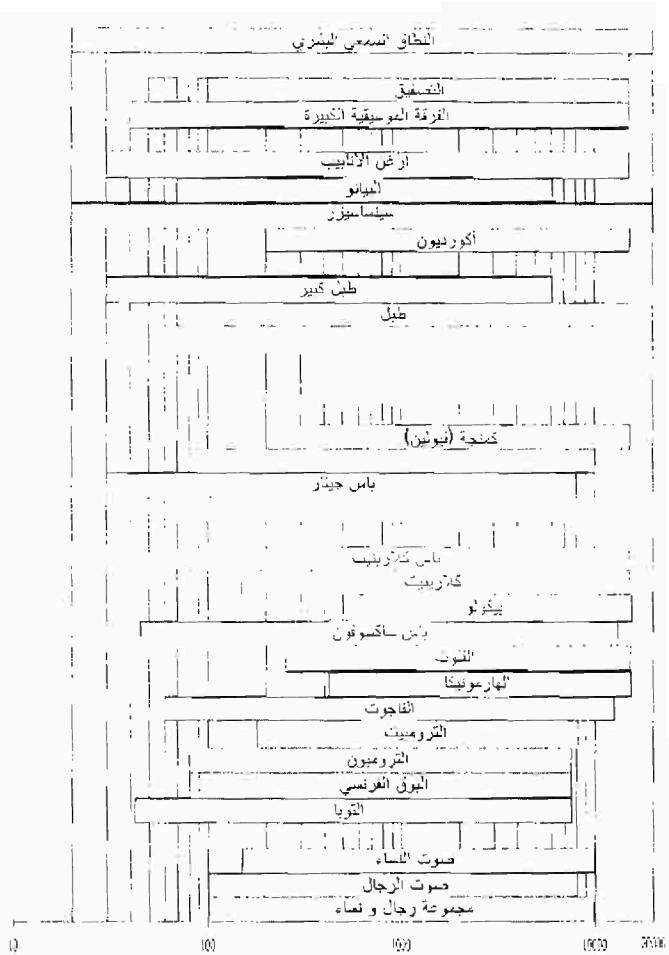
تتكون أي نغمة تصدرها آلة موسيقية من تردد أساسي و ترددات توافقية هي مضاعفات التردد الأساسي. أي أن التردد التوافقي الأول هو التردد الأساسي و التردد التوافقي الثاني هو ضعف التردد الأساسي، والثالث هو ثلاثة أضعاف التردد الأساسي و هلم جرا.

و منسوب الصوت لكل من الترددات التوافقية يختلف باختلاف التردد و اختلاف الآلة الموسيقية، وهذا الإختلاف هو الذي يعطي كل آلة موسيقية بصمتها الصوتية.

الصوت البشري الغليظ (التخين) و الصوت الرفيع (المسرسع)

الصوت الغليظ مثل صوت معظم الرجال تغلب فيه الذبذبات ذات التردد المنخفض، أما الصوت الرفيع مثل صوت الأطفال و معظم النساء فتغلب فيه الذبذبات ذات التردد المرتفع.

الشكل التالي يبين الترددات الخاصة بالآلات الموسيقية المختلفة و أصوات الرجال و النساء.


النطاق السمعي البشري
التصفيق
الفرقة الموسيقية الكبيرة
أرغن الأنابيب
البيانو
سيلسا سيزر
أكورديون
طبل كبير
طبل
ضنجة (بيونين)
باص جيتار
باص كلارينيت
كلارينيت
بيكولو
باص ساكسوفون
التوت
الهارمونيكا
الفاجوت
الترومبيت
الترومبون
البوق الفرنسي
التوبا
صوت النساء
صوت الرجال
مجموعة رجال و نساء
التردد [هرتز]

تأثير صوت الرجل على المرأة و العكس

أثبتت الأبحاث العلمية أن المرأة تنجذب إلى الرجال ذوي الصوت الظاهر الرجولة أكثر من إنجذابها إلى هؤلاء ذوي الصوت الشبيه بصوت النساء، و أثبتت تلك الأبحاث أن ذلك يكون على الأخص أثناء الفترة الزمنية التي تزداد فيها قابلية المرأة للحمل، أي قرب منتصف الدورة الشهرية [1-1] .

و من عوامل تأثير المرأة على الرجل صوتها بواسطة إختيار منسوب الصوت (عال أو منخفض) و نغمته (رفيعة أو غليظة) و تغيير سرعة الحديث و ترقيقه و تليينه.
و تلك أمور نهى الله تعالى عنها.

{ يا نساء النبي لستن كأحد من النساء إن اتقيتن فلا تخضعن بالقول فيطمع الذي في قلبه مرض وقلن قولا معروفا} سورة الأحزاب و رقمها 33 ، آية 32 .

و لقد أثبتت الأبحاث العلمية وجود مبررات للرجال الذين يصفون صوت المرأة بأنه ضوضاء عاطفية. فلقد اكتشف أن مخ الرجل يجد صعوبة أكثر في التعامل مع صوت المرأة و إن كان يلحظ سريعا نغمته العاطفية. و لطبيعة حجم و شكل حنجرة المرأة وأحبالها الصوتية فإن صوت المرأة أكثر تعقيدا من صوت الرجل. إن صوت المرأة ممتلىء بالترددات مع وجود نغمة طبيعية و ذلك ما يفتقر إليه صوت الرجل . وللتعامل مع صوت المرأة المعقد يحتاج مخ الرجل إلى جهد أكبر.

فحينما يسمع الرجل صوت امرأة فإن ذلك الصوت ينشط عمل الجزأ السمعي من المخ الخاص بالتعامل مع التنغيم العاطفي. علما بأن التنغيم هو رفع و خفض درجة نبرة الصوت أي نغمته.

بينما إذا استمع الرجل إلى صوت رجل آخر فإن ذلك يسبب عملا أقل إجهادا للمخ و ذلك في الجزء الخلفي من المخ المسمى "عين المخ". و هو ذلك الجزأ الخاص بمقارنة المخ للغير مع الذات، أي أن الرجل يقارن بين صوته و صوت الرجل الآخر.

و قد يكون ذلك هو السبب في أن هؤلاء الذين يعانون من إضطرابات نفسية و يتخيلون سماع أصوات يسمعون غالبا أصوات رجال وهمية و ليس نساءً [1-2] .