

Relationships between interaural time difference and interaural intensity difference in healthy adults and stroke patients

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/40398

健常人及び脳血管障害患者における、 音の時間差と強度差との関係

砂原 伸行, 能登谷晶子, 中谷 謙*

要 旨

健常人13例, 脳血管障害患者33例(左脳損傷群17例, 右脳損傷群16例)に対して, 音の方向感検査として時間-強度取引検査を行い, 各群の特徴を検討した. 方法として最初に4段階(200 μ sec, 400 μ sec, 600 μ sec, 700 μ sec)の設定時間差により, 左右どちらか一方に偏倚した音像を呈示した. 次に逆側の音の強度を徐々に上げ, 最初の偏倚した方向から音像が正中に戻ったと被験者が認識出来た時の逆側の音の強度差を測定した. その結果設定時間差が増えれば, 音像を正中に戻すのに必要な強度差も群全体の傾向として増加傾向にあることが確認された. しかし設定時間差が700 μ secになる際には, 必要強度差が減る例も出てきたことから, 今回700 μ secの設定時間差を追加したことで, 設定時間差が大きくなると少ない強度差の設定で音像が正中位に戻る傾向, すなわち強度差の優位性を明らかにすることが出来た. また右脳損傷群の左偏倚条件では, 群全体の傾向としても設定時間差が600 μ secから700 μ secと増えても必要強度差は減る傾向がみられた. これには右脳損傷群において左方向の音像に対して右方向へずれて認識する傾向や, 音像の中心が右へ偏倚する傾向などの音像定位能力の低下が関与している可能性があると考えられた.

KEY WORDS

time-intensity trading, sound lateralization, interaural time difference, interaural intensity difference, stroke patients

はじめに

音の方向の認識は両耳に入る音の時間差あるいは音の強度差により成立するとされている^{1), 2)}. 方向の認識が不十分であると声かけに対しその方向が分からない, 音を発する対象が接近してきてもその方向を判別出来なくなるなどの支障が生じる. 音の方向の認識の障害を捉える検査の1つとして耳鼻咽喉科領域では, 時間差と強度差を制御して音像をヘッドフォンから呈示し, 音の方向感認知能力をみる検査法がある. 時間差と強度差は交換可能な関係にあり, 左右どちらか一方の耳へ早く音が到達し時間差によりその方向へ偏倚した音像があるとすると, 今度は逆方向の耳へ入る音の強度を上げて強度差をつけていくと, 音像の位置がその方向から正中位に向かって移動していくように感じられる. すなわち一方の耳へ音を早く到達させることにより, その方向へ偏倚した音像は他方の耳から入る音の強度を上げると, 再び正中に戻ってくる. この現象は時間と強さの交換作用(time-intensity trading)と言われている³⁾. 時間差と強度差の関係をみる検査には, 音の方向感検査¹⁾の中に時

間-強度取引検査(Time vs Intensity Trade検査)がある. これは十分な時間差を設けてあらかじめ左右どちらか一方に偏倚した音像に対し, 逆方向の耳に入る音の強度を上げて徐々に強度差をつけていき, 音像が移動して正中位であると感じられた際の強度差を設定時間差ごとに求める検査である.

今回健常人及び脳血管障害による脳損傷例において時間-強度取引検査(以下, Time vs Intensity Trade検査)を実施した. 従来右脳損傷例では音像定位の障害が指摘されており, 本検討の仮説として右脳損傷例では設定強度差を上げた際の強度差の値に他群のものとは異なった特徴が認められることがあげられる. 検査ではどの程度の強度差をつけた段階で音の方向が正中位まで移動したと認識されるのかを検討したところ, 健常人での特徴, 左右脳損傷群間の相違などについて若干の知見が得られたので報告する.

対象

対象は健常人13例(男性8例, 女性5例), 脳血管障害

金沢大学医薬保健研究域保健学系

* 関西福祉科学大学保健医療学部

による脳損傷例33例である。全例Mini-Mental State Examinationは25点以上であり、認知症及び高次脳機能障害のみられない例である。脳損傷例の内訳は左脳損傷群が17例(男性12例, 女性5例), 右脳損傷群が16例(男性10例, 女性6例)であった。平均年齢は健常人群が61.8歳(標準偏差5.5歳), 左脳損傷群が61.0歳(標準偏差10.3歳), 右脳損傷群が65.4歳(標準偏差9.2歳)であり, 3群において年齢差はなかった。また全例耳疾患の既往はなく, 左右の裸耳聴力差は20dB以内でかつ左右耳とも500Hz聴力レベルは40dB以内であり, 音の方向感検査の施行基準¹⁾を満たしていた。対象者には実験目的及び参加の意図を文書にて確認して, 同意を得た。本検討は対象者(脳損傷例)の入院医療機関の研究倫理委員会の承認を得ている。

方法

1. 平均聴力レベルの測定と音の強度の設定

最初に500から2000Hzの聴力レベルを用いて4分法による平均聴力レベルを求めた。4分法は平均聴力レベル算出の標準的方法であり, 500Hz聴力レベルの数値, 1000Hz聴力レベルの数値を2倍にした数値, 2000Hz聴力レベルの数値の計3数値の合計を4で除した値を平均聴力レベルとする方法である。また実験での強度の設定においては聴力の値はあくまでも最小可聴閾値であり, 方向感検査における音の強度の設定では音が聞き取れない場合を考慮して, 20dBを平均聴力レベルの値に加えて検査を実施した。

2. 時間差音像移動弁別閾値(以下, 閾値)の測定

一方閾値は音の方向感検査の基本的指標であり, 正中位から左右どちらか一方に徐々に偏倚する音像に対して, どの程度の時間差を設定して音像を偏倚させれば, その方向へ音像が偏倚したことを認識出来るのかを測定する。閾値の測定は佐藤ら⁴⁾, 八幡⁵⁾の方法に従って実施し, 測定機器はリオン製オーディオメータAA-75を使用した。また検査時の刺激は500Hzバンドノイズ, 連続音とし, 検査は防音室内でヘッドフォンを着用して閉眼にて実施した。閾値の測定方法の詳細を図1に示した。

3. Time vs Intensity Trade検査

この検査はリオン製オーディオメータAA-75に組み込まれた音の方向感検査の中の下位検査であり, 検査時の刺激設定は上記の閾値測定の際と同じである。実際の検査では最初に一方へ時間差をつけて偏倚させた音像を呈示し, 次に逆方向から入る音の大きさを増加させて強度差を設け, どの程度の強度差で音像が正中位へ戻ってくるように感じられるのかを測定する。左偏倚条件を例とした検査方法を図2に示した。

今回呈示した音像は防音室内でヘッドフォンにより呈

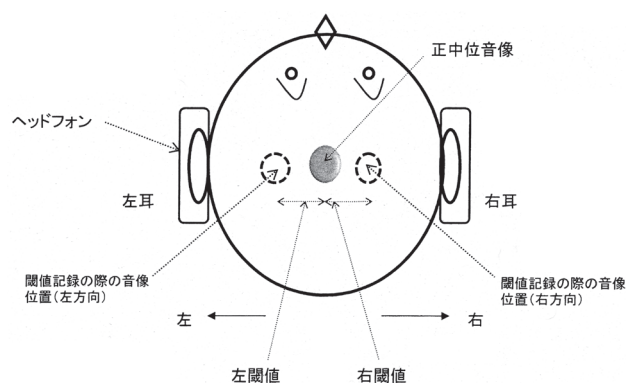


図1. 音の方向感検査における閾値の測定方法

どれくらいの時間差を設けて正中位音像を偏倚させたら, その音像の偏倚が認識できるのかを左右方向別に測定し, 閾値を算出した。左右方向とも5回ずつ測定を行い, 最小値を閾値とした後, さらに同様の測定を繰り返してそれぞれの閾値が一致することを確認した(図では点線丸印が, 閾値を記録した際の音像の位置を表している)。また閾値測定後, 一旦時間差0 μ secの正中位音像を呈示して, 正中であることを認識できることを確認し, 続いてすぐ閾値相当の音像を呈示して, その偏倚が再度認識できることも確認した。

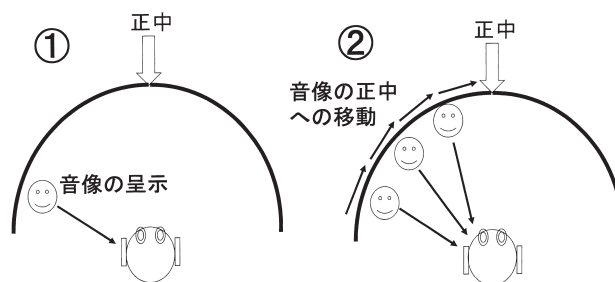


図2. 時間-強さ取引検査の方法

- ①設定時間差に基づき左右どちらか一方に偏倚した音像が呈示される。図では左偏倚条件を例として表示してある。
- ②逆側(ここでは右側)の音の強度を上げることにより音像は徐々に逆方向, すなわち正中位へ向かって移動する。音像が正中位に達したと, 被験者が認識した時点の強度差を測定する。

示され, 被験者の頭蓋内で出来る仮想音像であるが, 図2では模式的に外部からの音像として表記してある。通常外部音像では時間差と強度差の調整は困難であるのに対し, 本検討での音像は時間差, 強度差の調整が自由に出来ること, また被験者の頸部, 体幹の姿勢異常の影響を受けない点が脳損傷者の検査に適している⁶⁾。

まず被験者には200, 400, 600, 700 μ secの4段階の設定時間差に基づき, 左に偏倚した音像が呈示される。この状態から逆側の右の音の強度を0.5dBずつ, 最高20.0dBまで上げることにより音像は徐々に逆方向, すなわち正中へ向かって移動していく。被験者は音像が正中位に來たと認識した際にボタン押しにて合図し, 検査ではその時の強度差が記録される。この検査状況を左偏倚条件と言う。同様に最初に設定時間差に基づいて右に偏

倚した音像を呈示し、今度は逆側の左の音の強度を順次上げて音像が正中位に來たと認識された際の強度差を記録するのが右偏倚条件である。

今回健常人群、左脳損傷群、右脳損傷群の3群に対してそれぞれ左右偏倚の2条件ずつ、すなわち合計6条件において設定時間差が200 μ secから700 μ secまで増えるに従い、偏倚した音像を正中に戻すために必要な強度差がどのように変化するかを検討した。なお通常Time vs Intensity Trade検査では200 μ secから600 μ secまで、200 μ sec間隔で3回時間差が設定される¹⁾が、今回測定機器の最大設定時間差である700 μ secも加えて計4段階の設定時間差とした。

4. 統計解析法

4つの設定時間差に対する必要強度差が左右の偏倚条件間で差があるか否かについて、Wilcoxon検定を用いて判定した。また左偏倚条件、右偏倚条件の2条件内で、4つの設定時間差に対する必要強度差に差があるか否かについて、Friedman検定を行い下位検定としてWilcoxon検定にBonferroniの補正を施して判定した。いずれの場合も有意水準は0.05とした。

結果

1. 閾値

健常人群の閾値の平均値は右閾値が57.1 μ sec、左閾値が54.3 μ secであり左右差はなかった。左脳損傷群17例の閾値の平均値は右閾値が61.1 μ sec、左閾値が58.9 μ secであり左右差はなかった。また右脳損傷群16例の平均値は右閾値が73.9 μ sec、左閾値が76.4 μ secであり左右差はみられなかった。健常人の閾値には左右差はないとさ

れており⁴⁾、平均値は59歳以下が41.6 μ sec、60代以上が62.4 μ secとなっており、棄却限界値はそれぞれ80 μ sec、150 μ secとなっている。本研究の対象者で棄却限界値を超える例はみられず、また左右差もみられないことから閾値の数値として異常な値を示した例はなかった。

2. Time vs Intensity Trade検査

1) 健常人群(図3)

左偏倚条件では、設定時間差が200, 400, 600, 700 μ secと増えるに従い、必要強度差の中央値はそれぞれ4.5, 8.0, 10.0, 10.5dBであり、右偏倚条件では5.0, 7.5, 11.0, 12.5dBであった。左右偏倚条件ともに、設定時間差が増えれば音像を正中に戻すのに必要な強度差も増える傾向がみられた

2) 左脳損傷群(図4)

左偏倚条件では、設定時間差が200, 400, 600, 700 μ secと増えるに従い、必要強度差の中央値はそれぞれ4.5, 8.0, 11.5, 12.5dBであり、右偏倚条件では4.0, 6.0, 7.0, 8.5dBであった。左右偏倚条件ともに健常人と同様に、設定時間差が増えれば音像を正中に戻すのに必要な強度差も増える傾向がみられた。

3) 右脳損傷群(図5)

左偏倚条件では、設定時間差が200, 400, 600, 700 μ secと増えるに従い、必要強度差の中央値はそれぞれ、4.0, 5.5, 7.25, 6.75dBであり、右偏倚条件では4.5, 6.75, 9.75, 10.75dBとなった。右偏倚条件では健常人群、左脳損傷群と同様に設定時間差が増えれば音像を正中に戻すのに必要な強度差も増える傾向がみられた。しかしながら左偏倚条件では時間差600 μ secまでは必要強度差の増加傾向があるものの、時間差600 μ secと700 μ secとの間

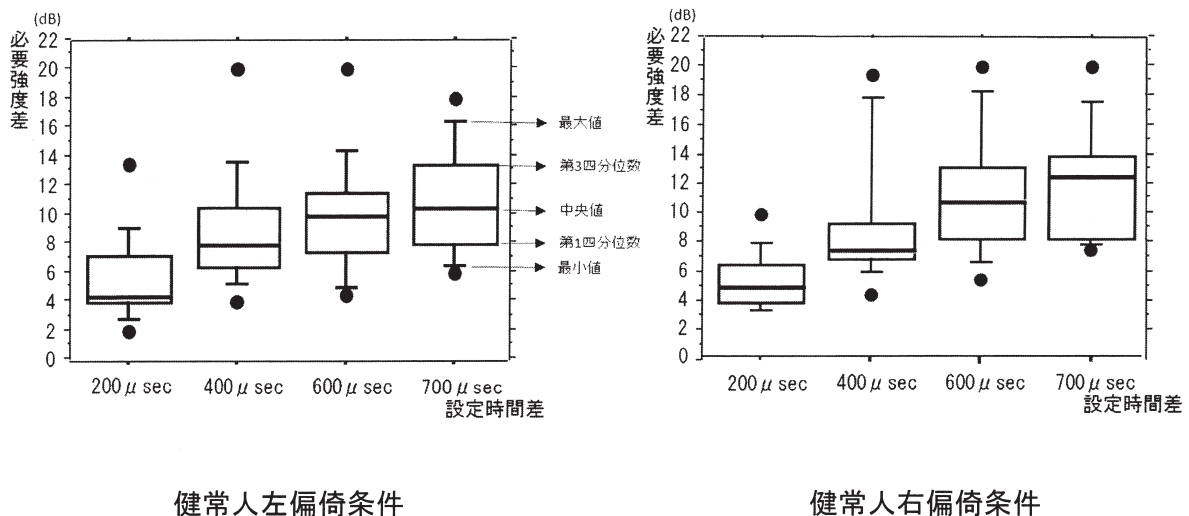


図3. 健常人における時間-強さ取引検査の結果

設定時間差が増えるに従い、必要強度差も段階的に増えていく傾向がみられる。

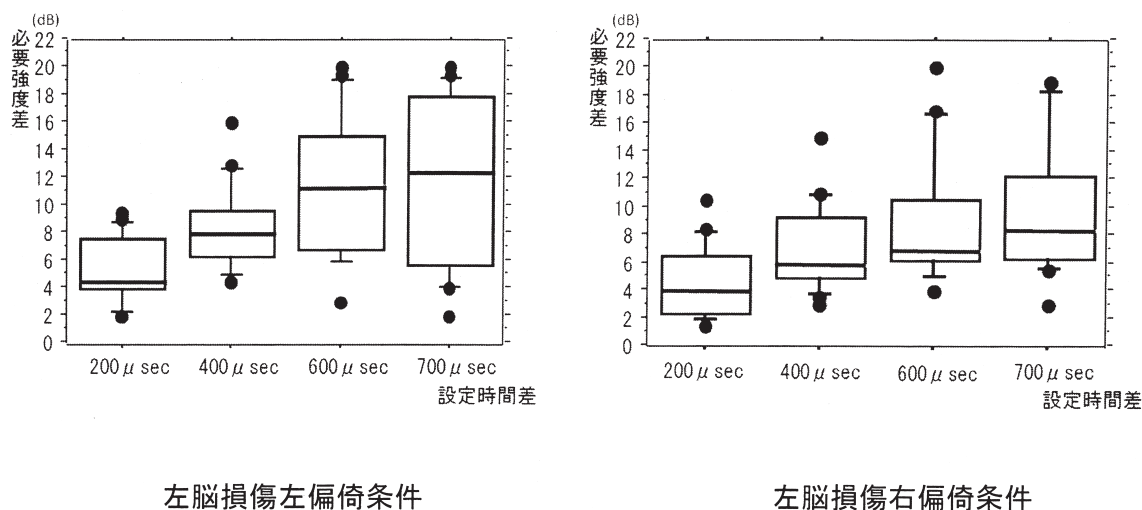


図4. 左脳損傷群における時間 - 強さ取引検査の結果

設定時間差が増えるに従い、必要強度差も段階的に増えていく傾向がみられるが、左偏倚条件の設定時間差700 μsecにおいては、必要強度差のばらつきがやや大きい。

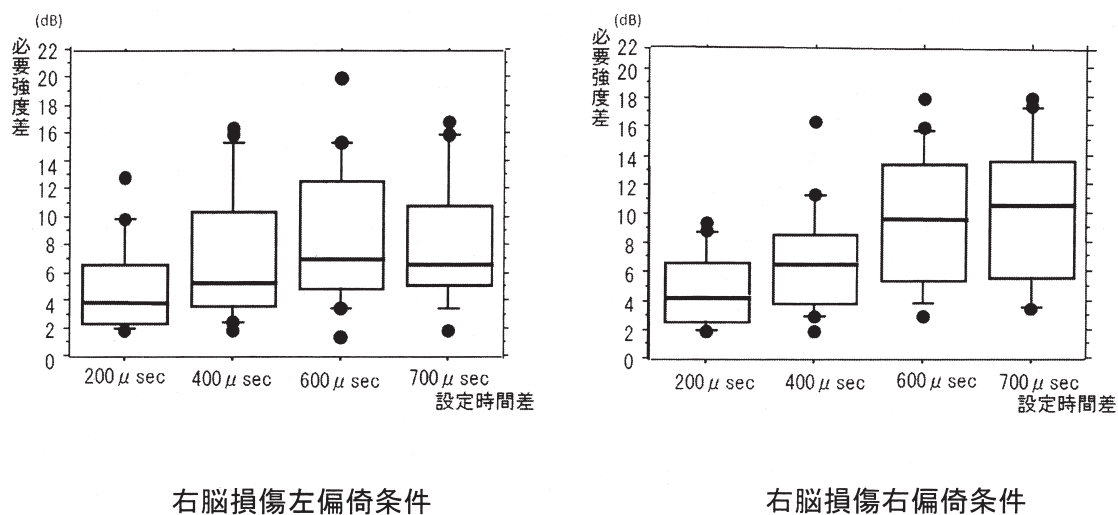


図5. 右脳損傷群における時間 - 強さ取引検査の結果

右偏倚条件では設定時間差が増えるに従い、必要強度差も段階的に増えていく傾向がみられるが、左偏倚条件では設定時間差600 μsecと700 μsecとの間では必要強度差で逆転がみられる。

表1 設定時間差の増加に伴い必要強度差が減少した例数

	左偏倚条件			右偏倚条件		
	200 μsecから 400 μsec	400 μsecから 600 μsec	600 μsecから 700 μsec	200 μsecから 400 μsec	400 μsecから 600 μsec	600 μsecから 700 μsec
健常人群	0	2	2	0	1	3
左脳損傷群	0	2	9	0	2	7
右脳損傷群	2	2	8	3	1	6

設定時間差が200 μsecから400 μsec, 400 μsecから600 μsec, 600 μsecから700 μsecへそれぞれ増加する3状況において、音像を正中に戻すのに必要な強度差が逆に減少した例数を、左右偏倚条件ごとに記載した。脳損傷群では600 μsecから700 μsecへ増加する状況において特に例数が増える傾向がみられる。

では必要強度差で逆転がみられ、設定時間差700 μ secでは600 μ secの際よりも少ない強度差の設定で正中に到達したと認識する傾向がみられた。

以上右脳損傷群の左偏倚条件を除いて、設定時間差が200 μ secから700 μ secまで増加するに伴い、音像を正中に戻すのに必要な強度差の段階的増加が各群全体の傾向として認められた。しかしながら個々の症例を見ると、設定時間差が増加しても必要強度差が減る場合がある例も認められた。表1に設定時間差の増加ごとに必要強度差が減った例数を記載した。特に設定時間差が600 μ secから700 μ secに増加する場合には、健常人群の左偏倚条件で2名、右偏倚条件で3名、左脳損傷群の左偏倚条件で9名、右偏倚条件で7名、右脳損傷群の左偏倚条件で8名、右偏倚条件で6名に必要な強度差が減る現象が認められた。これらの例では閾値、聴力、年齢において特徴的な所見はみられなかった。

3. 統計解析の結果

1) 4つの設定時間差に対する必要強度差が左右偏倚条件間で差があるかについて

①健常人群内の左右偏倚条件の比較

200, 400, 600, 700 μ secのそれぞれの設定時間差における必要強度差を左右の偏倚条件間で比較したところ、いずれの設定時間差においても左右偏倚条件間で有意な差はみられなかった。

②左脳損傷群内の左右偏倚条件の比較

200, 400, 600, 700 μ secのそれぞれの設定時間差における必要強度差を左右の偏倚条件間で比較したところ、いずれの設定時間差においても左右偏倚条件間で有意な差はみられなかった。

③右脳損傷群内の左右偏倚条件の比較

200, 400, 600, 700 μ secのそれぞれの設定時間差における必要強度差を左右の偏倚条件間で比較したところ、いずれの設定時間差においても左右偏倚条件間で有意な差はみられなかった。

2) 左右偏倚条件内で、各設定時間差に対する必要強度差に差があるかについて

①健常人群

左右偏倚条件ともに、設定時間差が200 μ secと600 μ secとの間、及び200 μ secと700 μ secとの間において必要強度差に有意な差がみられた。

②左脳損傷群

左右偏倚条件ともに、設定時間差が200 μ secと600 μ secとの間、及び200 μ secと700 μ secとの間において必要強度差に有意な差がみられた。

③右脳損傷群

左右偏倚条件ともに、設定時間差が200 μ secと600 μ

secとの間、及び200 μ secと700 μ secとの間において必要強度差に有意な差がみられた。

考察

今回健常人群、左右脳損傷群のどの群においても左右の偏倚条件ともに、設定時間差が200 μ secと600 μ secとの間及び、200 μ secと700 μ secとの間において必要強度差に有意な差がみられた。このことは3群において設定時間差の増大に伴い、必要強度差はほぼ増加傾向にあったと判断出来る。また今回のTime vs Intensity Trade検査では通常の設定時間差の上限である600 μ secに700 μ secの設定時間差を加えた。このことにより個々の例では設定時間差700 μ secの段階で設定時間差600 μ secの際よりも、必要強度差が減る例が3群ともに増えて来た。健常人では設定時間差が増えれば音像を正中に戻すのに必要な強度差も段階的に増えて行くが、50歳代以降では設定時間差が大きくなるに従い正中に戻すのに必要な強度差の増加割合が少なくなり、少ない強度差の設定でも音像が正中に戻る傾向があるとされている⁷⁾。今回700 μ secを設定時間差に加えたことで、右脳損傷群の左偏倚条件を除いた3群のグループの傾向として必要強度差は増加した。しかし個々の例では必要強度差が少なくなる例もみられた。これらの例では閾値や聴力に特徴的な所見はなく、対象者全体の平均年齢が60歳代であることから設定時間差が増えれば少ない強度差で反応するという、この年代の傾向が強く現れたと推察される。近年音像定位においては、時間差と強度差では強度差の方が優位な役割を担うことが指摘されている⁸⁾。今回700 μ secの設定時間差ではよりその優位性が強まり、少ない強度差で正中位に音像が戻った結果、必要強度差が設定時間差600 μ secの際よりも少なくなる例が増えたのではないかと考えられる。すなわち今回700 μ secの設定時間差を追加したことで、設定時間差が大きくなると少ない強度差の設定で音像が正中位に戻る傾向を、より明らかに出来たのではないと思われる。

一方、今回右脳損傷群の左偏倚条件では設定時間差が600 μ secから700 μ secへと増加しても、必要強度差の中央値は7.25dBから6.75dBと減少傾向を示した。すなわち右脳損傷群の左偏倚条件では設定時間差が100 μ sec増えても、音像を正中に戻すのに必要な強度差は逆に減る傾向がグループ全体として認められた。このことは右脳損傷で他群と異なった特徴が認められるという仮説を検証し得たと考える。この点は他群と同様に設定時間差が増えたことで、強度差の役割の優位性が強まったからという理由でも説明可能であるが、右脳損傷でみられる音像定位能力の低下で説明できる一面もあると思われる。

従来音像定位課題においては右脳損傷群に成績低下が存在し、左方向の音像に対して右方向へずれて認識する傾向が指摘されている⁹⁾。また音像の中心が右へ偏倚する傾向も指摘されている¹⁰⁾。今回左偏倚条件の設定時間差700 μ secでは右脳損傷群の多くが少ない強度差で反応していた。このことは左方向へ偏倚した音像が正中方向へ戻る際に、まだ実際には左方向に音像があるのに早い段階で正中と答えた可能性があると考えられる。このまだ左方向に音像があっても正中と認識したのは、右脳損傷群の音像定位能力の低下、特に左方向の音像を右方向へずれて認識する傾向が影響していると思われる。すなわち左偏倚条件の設定時間700 μ secの段階においては設定時間差により一旦左方向への偏倚を認識し得た音像でも、右耳に入る音の強度が上げられた結果、その音像が正中方向すなわち右方向へ移動し始めると、その音像がまだ充分左に偏倚していても正中と認識するのではないかと考えられる。つまり左偏倚の音像が正中へ向かって右へ移動する場合、もともとの右方向へずれて認識している状態と音像の右への動きが相乗的に働き、わずかな音像の右への動きを過剰に認識した結果、音像が実際にはまだ左にあっても正中と認識したのではないかと考えられる。

今回通常のTime vs Intensity Trade検査での設定時間差に700 μ secを設けることにより、設定時間差が大きくなるに従って、少ない強度差の設定で音像が正中に戻る傾向、すなわち強度差の役割が優勢になる点をより明らかにすることが出来た。設定時間差の増大に伴い概ね必要強度差は増える全体的傾向が健常人群、左脳損傷群、右脳損傷群の右偏倚条件で認められ、脳損傷群においても健常人の反応と大きな相違はなかった。しかし右脳損傷群の左偏倚条件では設定時間差が600 μ secから700 μ secへと増加しても、必要強度差は群全体としても減少傾向を示した。この点に関しては強度差の役割が強くなるという他群でみられた特徴の程度の差なのか、前述のように音像定位能力の問題なのかは本検討だけでは判断出来ず、この点に関して研究の限界があると考えられる。すなわち必要強度差が減少した例の音像定位能力も同時に検討し、右偏倚傾向などの問題が今回のTime vs Intensity Trade検査にどの程度の影響を及ぼしているかを検討する必要があると思われる。また右脳損傷例の中でも半側空間無視を伴う例では、音像定位能力の低下を含めて聴覚課題に対する反応の低下が指摘されている^{11),12)}。今後半側空間無視例に対しても本検討を行い、他の脳損傷群、健常人群との違いについて検討して行きたいと考えている。

引用文献

- 1) 加我君孝：方向感検査の臨床応用，耳鼻臨床 92: 1263-1279, 1999
- 2) 森浩一：音源定位，耳鼻咽喉科領域の臨床－10 感覚器，中山書店，pp 54-64, 2000
- 3) 境久雄：両耳の聴こえ，聴覚と音響心理，コロナ社，pp 173-198, 1999
- 4) 佐藤恒正，鈴木秀明，八幡則子，他：新しい方向感検査装置及びその応用，Audiology Japan 26: 659-666, 1983
- 5) 八幡則子：自動記録装置による方向感機能の研究，日耳鼻 90: 376-390, 1987
- 6) Spierer L, Bellmann A, Maeder P, Murray M, et al: Hemispheric competence for auditory spatial representation. Brain 132: 1953-1966, 2009
- 7) 切替一郎：両耳聴検査，聴覚検査法，医学書院，pp 188-208, 1974
- 8) Dekio- Hotta S, Kaga K: Comparative study of fixed time versus intensity trade and fixed intensity versus time trade tests in sound lateralization. Auris Nasus Larynx 33: 265-269, 2006
- 9) Haeske-Dewick H, Canavan AGM, Hömberg V: Sound localization in egocentric space following hemispheric lesion. Neuropsychologia 34: 937-942, 1996
- 10) Tanaka H, Hachisuka K, Ogata H: Sound lateralization in patients with left or right cerebral hemispheric lesions: relation with unilateral visuospatial neglect. J Neurol Neurosurg Psychiatry 67: 481-486, 1999
- 11) Cusack R, Carlyon RP, Robertson IH: Auditory midline and spatial discrimination in patients with unilateral neglect. Cortex 37:706-709, 2001
- 12) Pavani F, Husain M, Ládavas E, et al: Auditory deficits in visuospatial neglect patients. Cortex 40:347-365, 2004

Relationships between interaural time difference and interaural intensity difference in healthy adults and stroke patients

Nobuyuki Sunahara, Masako Notoya, Ken Nakatani*

Abstract

Time-intensity trade was investigated as a sound lateralization test in 13 healthy individuals and 33 patients with cerebrovascular disorders (right brain injury: 16; left brain injury: 17). Sound images deviated to one side (right- or leftward) were presented with 4-step time differences, and the sound intensity on the opposite side was gradually increased. The change in sound intensity on the opposite side was measured when the patient recognized that the initial location returned to the center. The intensity change required to shift the sound location to the center increased with the time difference. However, in the right brain injury group, the required change decreased even though the time difference was increased from 600 to 700 μ sec when the initial sound location deviated leftward. Although the sound image was still located on the left side while shifting toward the center, patients with right brain injury may have localized it at the center, and this may have been due to a reduced sound-locating ability; i.e., left-side sound images may have been shifted rightward in their sound location function.