

脳血管障害患者における音の左右方向判断能力

砂原 伸行, 中谷 謙*, 藤田 高史**, 柴田 克之***

要 旨

脳血管障害患者25例（左脳損傷群12例，右脳損傷群13例）に対して，各被験者の左右の時間差音像移動弁別閾値（以下閾値）に基づいて，7種類の音像（正中位音像，左右の閾値の1倍音像，2倍音像，3倍音像）をランダムに呈示し，音の左右方向判断能力を検討した．その結果，正中位音像及び脳損傷側と対側に呈示された3倍音像について，右脳損傷群の成績が有意に低かった．この結果は，音像定位において右脳損傷の成績が劣るという従来の報告と一致し，本課題は音像定位能力を反映すると考えられた．また右脳損傷群では，逆方向の音像であると認識する例が左右音像ともにみられた．この現象は，一側耳への聴覚刺激を反対側からのものと認識する，対側逆転現象alloacusicと類似の現象と考えられたが，本検討では頭蓋内に生じる仮想音像呈示の際に生じた点が異なっていた．近年alloacusicは音像定位の障害とされており，正中位音像の誤認識も現象に含めている．従って右脳損傷群における正中位音像に対する成績低下も，音像定位能力の低下に起因していると考えられる．臨床場面で聴覚刺激を用いて動作誘導の介入，刺激呈示方向への注意喚起を行う場合，右脳損傷群においては特に脳損傷側の対側（左側）からの刺激が，必ずしも有効ではない可能性があり，音像定位の困難に加えて，逆方向への誤認識が生じる場合があることに留意する必要がある．

KEY WORDS

sound lateralization, inter-aural time difference discrimination threshold, auditory task, spatial attention, stroke patients

はじめに

われわれは健常人に対して，対象者の時間差音像移動弁別閾値（以下閾値；単位 μ 秒）に基づいて音像を呈示し，音の左右方向判断能力を検討した¹⁾．その結果，閾値の3倍相当に偏倚した音像の呈示であれば，左右方向の判断が可能であり，方向性を持った刺激となることがわかった．閾値は音の方向感検査²⁾において，検査結果を表わす計測値のひとつである．音の方向感検査は，左右の耳に入る音の時間差を段階的に設定し，どの程度の時間差を設ければその音の方向が認識出来るのかを検討する．具体的には時間差0 μ 秒の正中位から左右どちらか一方に音の聞こえる方向を徐々に移動させ，どの程度音

像を正中位から偏倚させたら，その音の方向が正中位からその方向に移ったと認識出来るのかを調べる³⁾⁻⁵⁾．この際の偏倚の程度が閾値として計測される．

今回脳血管障害による脳損傷例において，音の方向感検査を実施して閾値を求め，対象者ごとの閾値に基づいた複数の音像を設定し，それらの音像に対する左右方向判断能力を検討した．本稿ではその結果を示すとともに，左右脳損傷例間の相違についても報告する．

対 象

対象は脳血管障害による脳損傷例25例である．

富山県高志リハビリテーション病院

* 姫路獨協大学医療保健学部言語聴覚療法学科

** 星城大学リハビリテーション学部作業療法学専攻

*** 金沢大学医薬保健研究域保健学系

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。内訳は左脳損傷が12例（男性8名、女性4名）、右脳損傷が13名（男性9名、女性4名）で、平均年齢は左脳損傷が62.5歳（標準偏差10.3歳）、右脳損傷が66.0歳（標準偏差9.2歳）であり、両群において年齢差はなかった。全例左右の裸耳聴力差は20dB以内であり、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²⁾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。また本検討は、対象者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. 閾値の測定

対象者の閾値の測定は、佐藤ら⁶⁾、八幡⁷⁾の方法に従って実施した。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、音の大きさの設定は、500 - 2000Hzの域値を用いて、4分法による平均聴力レベルに20dBを加えた値とした。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。測定方法の詳細を図1に示した。

2. 音像の左右判断課題における正答数

閾値測定に用いた機器は任意の時間差で音像を呈示することが可能である。本検討では先行報告¹⁾に基づき、対象者ごとの閾値をもとに、閾値の1倍、2倍、3倍相当の音像（以下1倍音像、2倍音像、3倍音像とする）、さらに時間差0 μ 秒の正中位音像を設定した。正中位音像以外の音像は各音像ともに左右に2つ存在するので、合計6音像となった。最終的に呈示する音像は、それら6音像と正中位音像の7音像である。課題ではこの7音像をランダムに5回ずつ、合計35回の音像を呈示した。各音像の呈示時間は1回につき2秒間とし、この際音像が右側から聞こえるか左側から聞こえるか、あるいは真ん中から聞こえるかの方向判断を被験者に口頭で求めた。

結 果

1. 閾値

左脳損傷群12例の閾値の平均値は右閾値が56.2 μ 秒（標準偏差18.7 μ 秒）、左閾値が57.8 μ 秒（標準偏差18.8 μ 秒）であり左右差はなかった。また右脳損傷群13例の平均値は右閾値が54.5 μ 秒（標準

偏差18.7 μ 秒）、左閾値が60.0 μ 秒（標準偏差18.8 μ 秒）であり、左右差はみられなかった。佐藤ら⁶⁾によると健常人の閾値には左右差はなく、59歳以下の平均が41.6 μ 秒で棄却限界値が80 μ 秒、60代以上では平均が62.4 μ 秒、棄却限界値が150 μ 秒となっており、本研究の対象者で棄却限界値を超える例はなく、閾値に関しては健常人と相違はなかった。

2. 音像の左右判断課題における正答数

全被験者の各音像における正答数を表1（左脳損傷群）、表2（右脳損傷群）に被験者それぞれの閾値とともに示した。

1) 1倍音像に対する反応

①左脳損傷群

チャンスレベル以上すなわち、正答数3以上の反応を示した例は左音像で7名、右音像で6名であった。正答数5の全施行正答者は左音像で1名、右音像ではなかった。

②右脳損傷群

正答数3以上の反応を示した例は、左音像で5名、右音像で7名であり、全施行正答者は左音像で3名、右音像では2名であった。

2) 2倍音像に対する反応

①左脳損傷群

正答数3以上が左音像で11名、右音像で10名に増えた。全施行正答者は左音像で5名、右音像で4名となり、1倍音像の場合に比べて増えた。

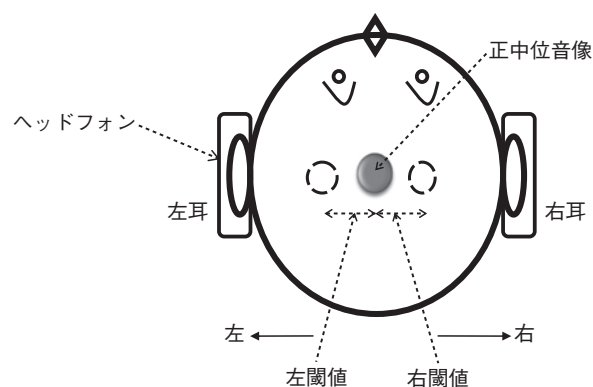


図1. 音の方向感検査における閾値の測定方法

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 秒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。

②右脳損傷群

正答数3以上が左右音像ともに10名となった。全施行正答者は左音像で4名、右音像で6名となり、左脳損傷例と同様に1倍音像の場合に比べて増えた。

3) 3倍音像に対する反応

①左脳損傷群

全施行正答者が増え、左音像で9名(75%)、右音像で10名(83%)に達した。

②右脳損傷群

全施行正答者は、左音像で5名(38%)、右音像で7名(54%)と増えたが、左脳損傷群に比べるとその割合は低かった。また特徴的な所見として、3倍音像における誤反応のうち、逆方向の音像として答えた例が左右音像ともに3名認められた。

4) 正中位音像に対する反応

①左脳損傷群

正答数3以上が11名であり、全施行正答者が6名であった。

②右脳損傷群

正答数3以上が7名であり、全施行正答者はなかった。

3. 正答数の統計分析

1) 各脳損傷群内での検討(表3)

1倍、2倍、3倍のそれぞれの音像において、左右の音像呈示条件間で正答数に差があるか否かについて、Wilcoxon検定を用いて判定した。また左音像、右音像呈示の2条件で、それぞれ1倍、2倍、3倍音像間の正答数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。

①左脳損傷群

1倍、2倍、3倍のどの音像においても、左右の

表1 左脳損傷群のプロフィールと各音像に対する正答数

被験者	病因	年齢	性別	閾値(μ秒)		正中位音像正答数	左音像正答数			右音像正答数		
				左	右		3倍	2倍	1倍	3倍	2倍	1倍
①	脳梗塞	51	男	84	78	4	4	5	3	3	2	0
②	脳梗塞	65	男	68	62	5	4	3	2	4	3	2
③	脳出血	57	男	82	68	5	5	5	2	5	5	3
④	脳梗塞	65	男	34	44	5	5	4	3	5	3	3
⑤	脳出血	52	女	34	34	3	5	4	4	5	5	2
⑥	脳梗塞	77	男	122	122	4	5	5	1	5	5	3
⑦	脳梗塞	72	女	38	36	5	5	2	1	5	1	2
⑧	脳出血	60	女	38	36	5	5	5	4	5	4	2
⑨	脳梗塞	74	女	44	44	3	5	4	3	5	3	3
⑩	脳梗塞	64	男	26	26	4	4	4	2	5	4	3
⑪	脳出血	41	男	64	66	5	5	4	3	5	4	0
⑫	脳出血	72	男	60	58	2	5	5	5	5	5	4

各音像は5回ずつ呈示されるので、正答数の最高は5である。

表2 右脳損傷群のプロフィールと各音像に対する正答数

被験者	病因	年齢	性別	閾値(μ秒)		正中位音像正答数	左音像正答数			右音像正答数		
				左	右		3倍	2倍	1倍	3倍	2倍	1倍
①	脳梗塞	74	男	20	18	3	3	1	2	0	0	0
②	脳出血	51	女	90	44	2	4	2	1	1	3	3
③	脳梗塞	76	男	64	76	2	3	1	2	5	2	1
④	脳出血	64	男	12	14	4	4	4	5	3	3	3
⑤	脳出血	81	女	102	98	1	4	3	2	3	4	1
⑥	脳梗塞	71	女	62	56	3	5	5	1	5	5	4
⑦	脳出血	73	男	42	34	2	4	3	5	5	5	3
⑧	脳出血	63	女	76	66	3	5	4	1	5	5	5
⑨	脳梗塞	52	男	64	64	4	5	5	4	5	5	2
⑩	脳出血	60	男	92	88	2	5	4	1	5	5	4
⑪	脳梗塞	54	男	64	68	4	5	3	1	5	5	5
⑫	脳出血	69	男	48	42	2	3	5	4	3	1	1
⑬	脳梗塞	70	男	44	40	4	4	5	5	3	3	1

各音像は5回ずつ呈示されるので、正答数の最高は5である。

音像呈示条件間で正答数に有意差はみられなかった。また左音像呈示条件では、1倍と2倍、1倍と3倍の音像呈示間の正答数にそれぞれ有意差がみられ、右音像呈示条件では、1倍と3倍の音像呈示間の正答数に有意差がみられた。

②右脳損傷群

1倍、2倍、3倍のどの音像においても、左右の音像呈示条件間で正答数に有意差はみられなかった。また右音像呈示条件では、1倍と2倍、1倍と3倍の音像呈示間の正答数にそれぞれ有意差がみられたが、左音像呈示条件では、1倍、2倍、3倍の音像呈示間の正答数には有意差はみられなかった。

2) 左右脳損傷群間での検討 (表4)

左右脳損傷群間の呈示音像ごとの正答数の比較には、Mann-Whitney検定を用い、有意水準は0.05とした。なお1倍、2倍、3倍音像の比較は、脳損傷側の対側に呈示された音像(左脳損傷群の右音像と右脳損傷群の左音像)間、脳損傷側の同側に呈示された音像(左脳損傷群の左音像と右脳損傷群の右音像)間で行った。その結果、左右脳損傷群間で有意差がみられたのは、正中位音像の正答数、脳損傷側の対側に呈示された3倍音像呈示時の正答数であり、右脳損傷群の正答数が有意に低い結果となった。

考 察

われわれは先行報告¹⁾として、健常人に対して今回と同様の方法で音の左右方向判断能力を検討した。その報告では閾値相当の音像(1倍音像)を呈示しても、左右判断は不十分であったが、2倍音像では全施行正答者の割合が78%、3倍音像ではその割合が89%となった。3倍音像で全施行正答でなかった例は、閾値が20μ秒台の特殊例であったので、健常人対象の先行報告においては、3倍音像であれば左右判断は可能であると判断した。以下この基準に基づき、左右脳損傷群の3倍音像の反応を中心に考察を進める。

今回の検討で特徴的であったのは、左脳損傷群では左右音像とも、1倍、2倍から3倍音像になるに従い、健常人とほぼ同様に正答数が増えたのに対し、右脳損傷群では左音像に対して、1倍、2倍、3倍間の音像呈示の正答数に差はみられなかった。また左右脳損傷群間の比較においも、損傷側の対側(右脳損傷では左側、左脳損傷では右側)に呈示された3倍音像呈示時の正答数が、右脳損傷群で有意に低く、全施行正答者も38%に留まっていた。このことは右脳損傷群においては、損傷側と対側に呈示された音

像に対して、3倍音像でも左右判断が充分に行えていないことを示している。

従来種々の音像定位課題において、右脳損傷群の成績が左脳損傷群と比較して低下することが指摘されている。Haeske-Dewickら⁸⁾はスピーカ呈示による音像定位課題にて、右脳損傷者の正答率が健常人、左脳損傷者よりも低下し、さらに左方向の音像に対して右方向へずれて認識する傾向を指摘した。Tanakaら⁹⁾も右脳損傷者における音像定位能力の低下を報告し、音像の中心が右へ偏倚する傾向を指摘している。またRuffら¹⁰⁾もスピーカ呈示による課題で、右の脳血管障害患者で方向認識のずれの割合が大きいことを報告している。一方Pinekら¹¹⁾は、右脳損傷者における系統的ずれを指摘しているが、呈示方向の影響はなかったとしている。同様に

表3 左右脳損傷群内での正答数の比較

	左音像	右音像
左脳損傷群	1倍音像 3 (1,5)	2.5 (0,4)
	2倍音像 4 (2,5)	4 (1,5)
	3倍音像 5 (3,5)	5 (3,5)
右脳損傷群	1倍音像 3 (1,5)	2.5 (0,4)
	2倍音像 4 (2,5)	4 (1,5)
	3倍音像 5 (3,5)	5 (3,5)

数値は中央値(最小値, 最大値)を示す。
 * p < 0.05 (Friedman検定後下位検定としてWilcoxon検定にBonferroniの補正を実施)
 各脳損傷群内において、左右の音像呈示条件間では正答数に有意差はみられなかった。

表4 左右脳損傷群間での各音像に対する正答数の比較

	正中位 音 像	損傷側同側音像			損傷側対側音像		
		1倍	2倍	3倍	1倍	2倍	3倍
左脳損傷群	4.5 (2,5)*	3 (1,5)	4 (2,5)	5 (3,5)	2.5 (0,4)	4 (1,5)	5 (3,5)*
右脳損傷群	3 (1,4)	3 (0,5)	4 (0,5)	5 (0,5)	2 (1,5)	4 (1,5)	4 (3,5)

数値は中央値(最小値, 最大値)を示す。
 損傷側同側: 左脳損傷群では左側, 右脳損傷群では右側に相当。
 損傷側対側: 左脳損傷群では右側, 右脳損傷群では左側に相当。
 * p < 0.05 (Mann-Whitney検定)

Bisiachら¹²⁾は、右脳損傷者において脳損傷側の対側のみならず、同側における方向認識のずれの存在も指摘している。

これらの報告での、音像の呈示位置は各被験者で同じ設定であるが、本検討では各被験者の閾値を基準にして音像の呈示位置を設定し、さらにその呈示範囲は左右の閾値の3倍相当間の範囲であり、正中位近傍の狭い範囲での呈示となった。すなわち本検討では、音像定位能力の個人差を考慮して音像呈示位置を決定した点が従来の報告にはない特徴であると言え、また先行報告よりも狭い範囲の音像呈示条件においても、従来の報告と同様に右脳損傷群での成績低下が示されたことは意義深い点であると考えられる。

次に本検討では、右脳損傷群において逆方向への誤認識が3倍音像でも認められた。これは一側の音像を反対側から聞こえたことと誤判断するものである。この現象は一側耳への聴覚刺激を反対側からのものと認識する、対側逆転現象alloacusic¹³⁾と類似の現象であるが、本検討では頭蓋内に生じる仮想音像呈示の際に生じた点が異なっていた。右脳損傷とalloacusicとの関連についてはすでにAltmanら¹⁴⁾が指摘しているが、最近Spiererら¹⁵⁾は、本検討と同様にイヤホーンを用い、左右の耳に入る時間差に基づいて刺激を呈示して音像定位課題を実施し、その際生じた対側逆転現象をalloacusicと定義した。その報告ではalloacusicの出現はほぼ右脳損傷例に限られ、出現方向も左呈示を右と誤る例が多数を占めていた。本検討においてalloacusicは左右音像ともに3例認められており、呈示方向差はみられなかった。本検討では、音像の定位能力の低下による方向認識の偏りの程度により、左右どちらか一方の音像を正中と認識する以外に、逆方向であると誤認識し、alloacusicが生じたものと考えられた。今後例数を増やして、呈示方向差が現れるかどうか検討していく必要があると考えられる。

さらに本検討では正中位音像への反応においても、右脳損傷群が左脳損傷群に比べて成績が低下していた。Bellmannら¹⁶⁾は、alloacusicを音像の定位の障害とし、正中位の音像を誤認識する現象も含めている。従って右脳損傷群における正中位音像に対する成績低下も、音像の定位能力の低下に起因していると考えられる。

今回右脳損傷群において、正中位音像呈示時及び損傷側の対側（左側）に呈示された3倍音像呈示時の正答数が有意に低かった。また左脳損傷群との間

に有意差はなかったものの、損傷側と同側（右側）に呈示された3倍音像についても、正答数の低下がみられ、全施行正答者は54%に留まっていた。すなわち右脳損傷群においては左側空間での明らかな成績低下とともに、右側空間においても成績の低下がみられたと言える。

また、音像定位能力は右脳が担う機能が優位とされている¹⁷⁾が、Spiererら¹⁵⁾は、右脳は左右両空間の刺激に対して、その刺激の方向を認識する機能を持ち、左脳は損傷側と対側の右空間の刺激に対してのみ、その機能を持つと指摘している。本検討の右脳損傷群では、損傷側と対側の左音像で有意に成績が低下したが、右音像についても、左脳損傷群と比較して有意ではないが成績の低下がみられた。このことは、残存した左脳により右音像への反応が可能な部分があったが、障害された右脳が担っていた部分では低下が認められたと解釈できる。この事実は、視覚における空間的注意の配分について、右脳は左右両空間に注意を向け、左脳は対側の右空間にのみ注意を向けるという、視覚における空間性注意機能の半球差における仮説¹⁸⁾と類似する面がある。しかしその神経ネットワークについては視覚と聴覚では同一とは言い難く、今回の聴覚課題の結果だけで視覚領域での仮説を採用することは出来ない。今後、視覚における空間性注意を要する課題も同時に同じ被験者で実施し、それらの課題における反応を比較していく必要があると考えられる。

最後に本検討の臨床的意義についてであるが、リハビリテーションの臨床においては、言語指示などの聴覚刺激を用いて動作誘導などの介入、また刺激を呈示した方向への注意喚起を促す場合がある。この場合右脳損傷群においては、聴覚刺激が必ずしも有効ではない可能性があり、特に脳損傷側の対側（左側）から聴覚刺激を与える場合には、方向定位が困難となったり、逆方向からの刺激であると認識したりする可能性があることに留意する必要がある。今後、例数を増やして本検討の結果をさらに検証するとともに、右脳損傷群の中でも半側空間無視を伴う例にも、今回の左右判断課題を実施し、その反応傾向について検討して行きたいと考えている。

引用文献

- 1) 砂原伸行, 中谷謙, 藤田高史, 他: 健常人における音の左右方向判断能力, 金沢大学つるま保健学会誌 36(1): 21-26, 2012
- 2) 加我君孝: 方向感検査の臨床応用, 耳鼻臨床 92: 1263-

- 1279, 1999
- 3) 切替一郎, 設楽哲也, 竹尾康男, 他: 音像成立機転に関する基礎的研究と臨床的研究, *Audiology Japan* 7: 1-5, 1964
 - 4) 佐藤恒正, 鈴木秀明, 八幡則子, 他: 本態性後迷路障害の聴力像, *Audiology Japan* 28: 758-771, 1985
 - 5) 佐藤恒正, 飯塚尚久, 下田雄丈, 他: 方向感検査による小脳橋角部腫瘍の早期診断, *耳鼻臨床* 87: 9-22, 1994
 - 6) 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
 - 7) 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
 - 8) Haeske-Dewick H, Canavan AGM, Hömberg V: Sound localization in egocentric space following hemispheric lesion. *Neuropsychologia* 34: 937-942, 1996
 - 9) 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: 81-86, 1999
 - 10) Ruff RM, Hersh NA, Pribram KH: Auditory spatial deficit in the personal and extrapersonal frames of reference due to cortical lesions. *Neuropsychologia* 19: 435-443, 1981
 - 11) Pinek B, Duhamel JR, Cavé C, et al: Audio-spatial deficit in humans: Differential effects associated with left versus right hemisphere parietal damage. *Cortex* 25: 175-186, 1989
 - 12) Bisiach E, Cornacchia L, Sterzi R, et al: Disorders of perceived auditory lateralization after lesion of the right hemisphere. *Brain* 107: 37-52, 1984
 - 13) 田辺敬貴: Akustische Allästhesieと聴空間認知障害, *精神医学* 25: 395-405, 1983
 - 14) Altman JA, Balonov LJ, Deglin VL: Effects of unilateral disorders of the brain hemisphere function in man on directional hearing. *Neuropsychologia* 17: 295-301, 1979
 - 15) Spierer L, Bellmann A, Maeder P, Murray M, et al: Hemispheric competence for auditory spatial representation. *Brain* 132: 1953-1966, 2009
 - 16) Bellmann A, Meuli R, Clarke S: Two type of auditory neglect. *Brain* 124: 676-687, 2001
 - 17) Kaiser J, Lutzenberger W, Preissl H, et al: Right-hemisphere dominance for the processing of sound-source lateralization. *J Neuroscience* 20: 6631-6639, 2000
 - 18) Mesulam M: Functional anatomy of attention and neglect: from neurons to network. In *The Cognitive and Neural Bases of Spatial Neglect*. pp34-45, Karnath H-O, Milner D, Vallar G eds, Oxford University Press, Oxford New York, 2002

Sound lateralization in stroke patients

Nobuyuki Sunahara, Ken Nakatani*, Takashi Fujita**, Katsuyuki Shibata***

Abstract

Seven types of sound image (median sound and 1, 2, and 3 times threshold sounds for each side) were randomly presented to 25 cerebrovascular disease patients (12 and 13 with left and right brain damage, respectively) based on the inter-aural time difference discrimination threshold of each patient, and the auditory lateralization ability was investigated.

The ability to judge the median sound and 3 times threshold sound presented on the side contralateral to the affected side was significantly poorer in the right brain damage group. These findings are consistent those of previous studies: the ability to localize sound is poorer in the right brain damage group. Some patients misidentified either sound direction as opposite in the right brain damage group. This phenomenon may be similar to alloacusis, in which auditory stimulation on one side is recognized as that on the opposite side, but the investigated sound images were virtually produced in the skull, not actual images, and this is different from alloacusis. Based on these findings, for intervention using auditory stimulation, such as movement guidance, auditory stimulation on the side contralateral (left) to the brain damaged side may not be useful for patients with right brain damage.