

Sound lateralization in healthy adults

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/2297/32062

健常人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***
酒野 直樹* **** 井上 克己*****

要 旨

健常人18名を対象として、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、1倍音像すなわち閾値通りの設定で音像を呈示しても、その左右判断は充分には行えなかった。また左右の閾値が20 μ 秒台以下の例を除けば、左右判断が可能となるためには、閾値の3倍以上の音像を呈示する必要があることが明らかとなった。今回健常人において、閾値の3倍相当に偏倚した音像であれば左右方向の判断が可能であり、方向性を持った聴覚刺激となることが確認された。近年半側空間無視例のリハビリテーションとして、無視側から聴覚刺激を呈示し、その方向への視覚探索能力を改善させる試みが報告されている。今回の結果は治療刺激として、聴覚刺激の利用を検討する際の基礎的データとなり得ると考えられた。さらに1倍音像正答時と正中位音像誤答時の状況から、正中と認識している範囲の分布は、音像呈示方向へ一時的にずれることが推察された。その結果、直後に呈示された音像の位置が、先行音から遠ざかる位置にずれて聞こえる現象を引き起こすと考えられ、この現象は聴覚定位残効（auditory localization aftereffect）の効果と捉えることも可能と思われた。今後、今回のデータをもとに半側空間無視例を含む脳損傷例についても、本課題を実施して行く必要性があると考えられた。

Key words

sound lateralization, auditory localization aftereffect,
inter-aural time difference discrimination threshold, auditory task, healthy adults

はじめに

聴覚刺激がどの方向から聞こえているのかを判断する際、刺激の発信源から左右の耳に入る音の時間差や強度差が利用される^{1,2)}。本邦では、時間差を指標として聴覚刺激の方向を定位する能力をみる課題として、音の方向感検査が使用されてきた^{3,5)}。この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みる検査である。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決める。偏倚の程

度は、時間差音像移動弁別閾値（以下閾値；単位 μ 秒）として計測される。

この検査では正中位から段階的に音像を偏倚させて呈示し、閾値を決定している。しかし、このような段階的な音像の偏倚過程を経ることなく、直接閾値通りの時間差を設定して音像を呈示した場合、健常人がその音像の方向を認識出来るのかについて検討した報告は見当たらない。そこで、今回は健常人を対象として対象者ごとの閾値に基づいた複数の音像を設定し、その音像の左右方向の判断が可能かどうかを検討した。

富山県高志リハビリテーション病院
* 金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻
** 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
**** 藤田保健衛生大学医療科学部リハビリテーション学科
***** 金沢大学医薬保健研究域保健学系

対 象

対象は中枢神経疾患、耳科疾患の既往のない健康人18名であり、内訳は男性7名、女性11名で、平均年齢は60.8歳（標準偏差5.5歳）であった。全例左右の裸耳聴力レベル差は20dB以内であり、かつ左右耳とも500Hz聴力レベルは40dB以内であった。また全例において実験目的及び参加の意図を確認し、同意を得ている。

方 法

1. 閾値の測定

各対象者の閾値の測定には、リオン製オーディオメータAA-75内に組み込まれた音の方向感検査法を用い、佐藤ら⁶⁾、八幡⁷⁾に基づいた方法で実施した。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、500-2000 Hz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、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

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。本課題では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）に加えて、正中位音像（時間差0 μ 秒）を設定した。正

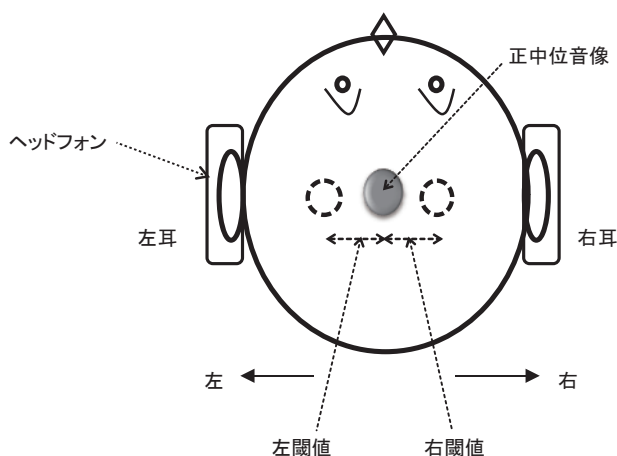


図1. 音の方向感検査における閾値の測定方法

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。

中位音像以外の1倍、2倍、3倍音像は、各音像ともに左右に2つ存在するので、それらの合計は6音像となった。したがって、呈示する音像は正中位音像とそれを挟んで、左右に3つずつ存在することになり合計7音像となった。課題では、この7音像をランダムにそれぞれ5回ずつ、合計35回の音像を呈示した。1回の音像の呈示時間は2秒間とし、この際に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。

3. 統計処理

1倍、2倍、3倍のそれぞれの音像についてWilcoxon検定を用い、正答数における左右差を検討した。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どうかについては、Friedman検定を行い、下位検定としてWilcoxon検定にBonferroniの補正を施して検討した。有意水準は0.05とした。

結 果

1. 閾 値

18例の閾値の平均値は右閾値が57.0 μ 秒（標準偏差18.7 μ 秒）、左閾値が55.1 μ 秒（標準偏差18.8 μ 秒）であり左右差はなかった。佐藤ら⁶⁾によると、健康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かった。

2. 音像の左右判断課題

全被験者の各音像における正答数を表1に、被験者それぞれの閾値とともに示した。

1) 1倍音像

左右音像とも、正答数0から正答数5まで反応にばらつきがあり、一定の傾向は認められなかった。また正答数において左右差はみられなかった。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8名、右音像で6名であり、うち正答数3が左音像で3名、右音像で4名、正答数4が左音像で3名、右音像で2名であった。また正答数5の全施行正答者は、右の音像ではなし、左の音像では2名であった。誤反応の内訳は正中と反応する場合がほとんどであったが、逆方向への音像として答える場合が、左音像で3名、右音像で2名みられた。

正答時の直前の音像呈示状況では、一方の1倍音像を正中と誤答した直後に、他方の1倍音像に正答した場合が34.6% (27/78)、次いで、一方の2倍ま

表 1. 被験者のプロフィールと各音像の正答数

被験者	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	61	女	64	70	5	5	3	0	5	5	2
②	52	男	52	38	5	5	5	4	5	3	0
③	58	男	58	56	5	5	5	2	5	5	3
④	62	女	20	26	4	3	2	2	4	5	2
⑤	59	女	44	42	5	5	5	4	5	5	3
⑥	55	男	68	64	5	5	4	2	5	3	0
⑦	67	女	80	80	5	5	5	2	5	5	0
⑧	66	女	78	72	5	5	5	1	5	5	2
⑨	73	男	94	88	5	5	5	0	5	5	1
⑩	56	女	48	66	4	5	5	2	5	3	1
⑪	63	女	36	50	4	5	5	1	5	5	3
⑫	59	男	26	18	1	4	5	3	3	1	2
⑬	68	女	50	52	5	5	5	3	5	5	3
⑭	58	女	38	36	3	5	5	5	5	5	1
⑮	64	男	66	76	5	5	5	3	5	5	4
⑯	64	女	42	58	3	5	3	1	5	5	4
⑰	56	男	66	58	2	5	5	5	5	5	0
⑱	54	女	64	76	5	5	5	4	5	5	2

たは 3 倍音像に正答した直後に、他方の 1 倍音像に正答した場合が 33.3% (26/78) あった。

2) 2 倍音像

左右音像とも正答数 3 以上が 17 名に増え、うち正答数 3 が左音像で 2 名、右音像で 3 名、正答数 4 が左音像で 1 名、右音像でなし、正答数 5 は左右音像とも 14 名となり、1 倍音像の場合に比べて大幅に増大した。誤反応は全て正中と反応するものであった。また正答数において左右差はみられなかった。

3) 3 倍音像

正答数 5 の全施行正答者が増え、左右音像ともに 16 名 (89%) となった。また正答数において左右差はみられなかった。全施行正答ではなかった例は、左右の音像で共通した 2 例 (被験者④、⑫) であり、左右音像とも 5 回施行のうち、1 回または 2 回の呈示を正中と答えた例である。この 2 名は閾値が左右とも 10 μ 秒台または 20 μ 秒台であり、閾値自体が小さかった。

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どうかについては、両条件とも 1 倍と 2 倍間、1 倍と 3 倍間の音像呈示の正答数に、それぞれ有意差が認められた ($p < 0.05$)。

4) 正中位音像

正答数 5 が 11 名 (61%) であり、他の 7 名では少なくとも 1 回以上左または右の音像であると反応した。また正答数 4 は 3 名、正答数 3 は 2 名、正答数 2 及び 1 は 1 名ずつであった。全施行正答ではない 7 名の中には、3 倍音像で全施行正答ではなかった

前述の 2 名のほか、左右の閾値に差がみられる 3 例 (被験者⑩、⑪、⑯) が含まれていた。

誤反応時の直前の音像呈示状況では、一方の 2 倍または 3 倍音像の呈示に正答した直後に、正中位を他方の音像と判断する 경우가 50% (7/14) を占めた。

考 察

1. 閾値通りの音像設定では反応にばらつきがみられたこと

音の方向感検査における閾値の測定では最初に正中位音像が呈示され、徐々にその音像が事前に決められた左右のどちらかに偏倚する。その際被験者は、最初に呈示された正中位音像の位置を記憶し、刻々と偏倚する音像とその位置を比較することで、両者の位置に違いがあるかどうかを判断する。違いがあると判断されれば、その時点で閾値が決定される。つまり閾値を決定することで、被験者が時間差 0 μ 秒の正中位からその方向のどこまでを、正中と認識しているかがわかる。さらに左右の閾値を測定することで、正中位をはさんで正中と認識している範囲も求められる。

一方、今回の課題では、事前に測定された左右の閾値に基づいて、正中位、左右の 1 倍、2 倍、3 倍相当の音像がランダムに呈示され、被験者は直ちにその音の方向判断を求められた。その結果、1 倍音像すなわち閾値通りの設定で音像を呈示しても、その左右判断は充分には行えなかった。そして 2 倍、3 倍の音像を呈示することで、左右判断が可能とな

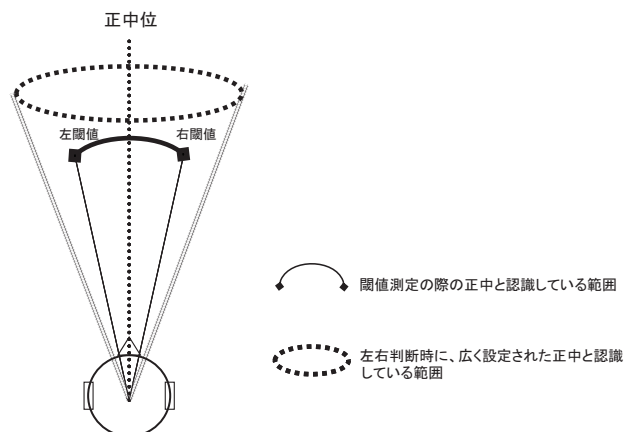


図2. 音の左右判断時の正中と認識している範囲の拡大

閾値測定の際は、左右の閾値間が正中と認識している範囲となるが、左右判断時には、左右どちらの音像が呈示されるかはわからないので、被験者は正中と認識している範囲を広く確保する必要がある。したがって閾値通りの音像（1倍音像）を呈示しても、その位置は正中と認識している範囲に収まっている。なお本課題では、頭蓋内で音像が成立するように感じられるが、便宜上外部からの音像として図示した（図3、4も同様）。

る例が増えてきた。閾値測定では、一方向のみの音像の呈示であり、正中位から徐々にその方向に動く音像に集中しながら、可能な限り正中と認識出来る範囲を絞り込んでいく。一方、今回の設定では、事前に左右どちらの音像が呈示されるかはわからないので、被験者は正中位の音像も含めてどの方向の音像にも対応する必要があった。したがって、被験者は正中と認識している範囲を閾値測定の際よりも広く確保して、音像呈示に備える必要があったと考え

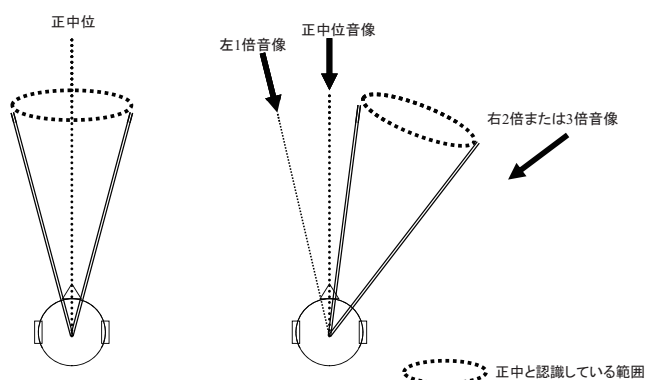


図3. 正中と認識している範囲の流動性

通常正中と認識している範囲は、正中位を中心として左右均等に分布していると考えられる（左図）。しかし、一方（図では右方向）の2倍または3倍音像が呈示されると、一時的にその分布は音の呈示方向にずれると考えられる（右図）。その直後に正中位音像が呈示されても、その分布の範囲から外れることがあり、他方（図では左方向）の音像として認識される。また他方の1倍音像の呈示位置も、その分布からより離れることになり、方向をより認識しやすくなる。

られる。その結果、1倍音像が呈示されても、その位置は正中と認識している範囲に収まっていたと推察され、左右判断が可能となるためには、その範囲を超えて閾値の2倍や3倍相当の音像を呈示する必要があったものと思われる（図2）。

2. 3倍音像でも全施行正答でない者が存在したと

今回3倍音像では、全施行正答者は89%に及んでおり、全施行正答ではなかった者が2名存在した。この2名の左右の閾値は小さく、左右とも20 μ 秒台以下であった。閾値自体が小さいと、2倍、3倍としても呈示される音像の左右への偏倚は少なく、被験者全体の平均閾値（50 μ 秒台）を若干上回る程度に留まる。したがって3倍音像を呈示しても、上記の2名においては、その音像の呈示箇所は、状況により正中と認識している範囲に収まっていた可能性があり、これが閾値の小さい例において、3倍音像でも左右判断の成績が全施行正答にはならなかった理由であると考えられる。

3. 正中と認識している範囲の流動性

今回の設定において、正中位音像への反応で全施行正答者は11名であり、正中位をそれと認識できない場合がある例が存在した。誤反応は、一方の2倍または3倍音像が呈示された直後の正中位音像を、他方の音像と判断するケースが多かった。通常、正中と認識している範囲の分布は、正中位を中心として左右均等と考えられる。しかし、一方の2倍または3倍音像が呈示された直後では、一時的にその分布

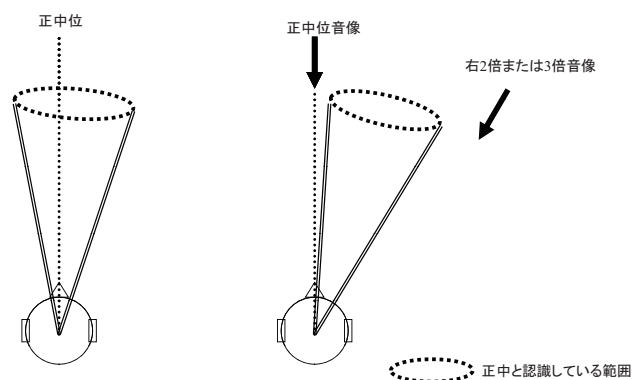


図4. 左右の閾値間に差がある場合の正中と認識している範囲

左右の閾値間で差がある例では、正中と認識している範囲は左右均等には分布していない（左図）。分布が広い方向（図では右方向）への音像の呈示により、その分布は一時的に音像呈示方向にずれる。分布はもとより左右均等ではないため、少ない分布のずれでも、その直後に呈示された正中位音像が分布から外れやすくなり、他方（図では左方向）の音像として認識される。

は音の呈示方向に偏ることになり、その結果、正中と認識している範囲の中心が、正中位からその方向にずれる場合があると思われる。この場合正中位が呈示されても、正中と認識出来る範囲から外れることがあり、逆方向の音像として、認識されるのではないかと考えられる（図3）。

また、正中位への反応が全施行正答ではなかった例の中には、3倍音像の反応が全施行正答ではなかった、前述の2例が含まれていた。もともとの閾値が小さいと、正中と認識している範囲が狭くなる。したがって、その範囲が音像呈示方向にずれた際には、正中と認識出来る範囲から正中位がより外れやすくなるものと思われる。また、左右の閾値間で差がある例でも正中位音像への反応が低下していた。これらの例では、もともと正中と認識している範囲が、正中位を中心として左右均等には分布しておらず、分布が広い方向への音像の呈示により、分布の不均衡が強まるものと考えられ、直後に呈示された正中位音像が、正中と認識している範囲から外れる可能性が高くなると考えられる（図4）。

このような正中と認識している範囲の分布の流動性は、1倍音像呈示の際に正答した場合の分析からも裏付けられる。1倍音像正答時の直前の音像呈示状況では、一方の2倍または3倍音像に正答した直後に、他方の1倍音像に正答する場合が3割を超えていた。この場合、正中と認識している範囲が一方方向にずれることで、他方の1倍音像の位置が正中と認識出来る範囲から、他方へより離れることになり、結果として方向をより認識しやすい状況になると考えられる（図3）。

以上のように、一方向の2倍または3倍音像の呈示に引き続いて、反対方向の音像が呈示された場合、それが正中位音像であれば反対方向の音像と誤って認識し、他方の1倍音像であればそのまま他方の音像と正答する現象は、聴覚定位残効（auditory localization aftereffect）の効果と考えられる^{8・9）}。この現象は、連続して音が呈示された際の音の位置の判断において、後続音の位置が先行音から遠ざかる位置に、系統的にずれて聞こえる現象を指す。この現象により、正中位音像が他方へずれて認識され、また1倍音像ではその方向により偏倚が強く感じられ、その方向の音像であることが認識しやすくなるものと考えられる。

4. 本研究の意義と今後の展望

今回の検討から、左右の閾値が20 μ 秒台以下の例を除けば、音の左右判断は閾値の3倍以上の音像を

呈示すれば、可能なことが明らかとなった。われわれは、音の方向感検査を半側空間無視（Unilateral Spatial Neglect, 以下USN）例に実施し、USN例では左方向の閾値が有意に増大し、その増大割合は、USNの重症度とは相関しないことを報告した^{10）}。USNの重症度は、BIT行動性無視検査などの視覚課題で測定されるので、方向感検査などの聴覚課題での成績の方が良い例では、方向性を持った聴覚刺激がUSNの改善に有効となる可能性がある。近年USNのリハビリテーションとして、無視側から聴覚刺激を呈示し、その方向への視覚探索能力を改善させる試みが報告されている^{11・12）}。今回健常人で閾値の3倍相当に偏倚した音像であれば、方向の判断が可能で、方向性を持った刺激となることが確認出来た点は、意義深いと考えられ、この結果は治療刺激として聴覚刺激の利用を検討する際の、基礎的データとなり得ると思われる。

今後、USN例、USNのない脳損傷例についても本課題を実施して行きたいと考えている。特にUSN例では、もともとの閾値に明らかな左右差があることから、正中と認識している範囲は左右均等ではなく、著しく左方向に偏っている。USN例でも3倍音像であれば、左方向の方向判断は可能なのかなど、確認すべきことは多いと考えられ、今回の健常人のデータをもとに比較検討していきたいと考えている。

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) 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) Kashino M, Nishida S: Adaptation in the processing of interaural time differences revealed by the auditory localization aftereffect. J Acoust Soc Am 103: 3597-3604, 1998
- 9) 柏野牧夫：空間が伸び縮みする，音のイリュージョン－知覚を生み出す脳の戦略，岩波書店，pp 53-64, 2010

- | | |
|--|--|
| 10) 砂原伸行, 能登谷晶子: 半側空間無視患者における音の方向感検査所見とBIT行動性無視検査所見との関係, 高次脳機能研究 25: 306-313, 2005 | -425, 2009 |
| 11) 宮崎泰広, 種村純: 半側空間無視例におけるメトロノームによるリズム聴覚刺激の効果, 高次脳機能研究 29:415 | 12) Vleet M, Robertson C : Cross-modal interactions in time and space : auditory influence on visual attention in hemispatial neglect. J Cogn Neurosci 18: 1368-1379, 2006 |

Sound lateralization in healthy adults

Nobuyuki Sunahara, Ken Nakatani* **, Takashi Fujita***,
Naoki Sakano* ****, Katsumi Inoue*****

Abstract

In 18 healthy individuals, 7 types of sound images (median, 1 time the bilateral thresholds, 2 times the bilateral thresholds, and 3 times the bilateral thresholds) based on the inter-aural time difference discrimination threshold (threshold) of each subject were presented at random, and the left/right sound direction judgment ability was evaluated. Results: When 1-time sound images equal to the threshold were presented, the judgment of whether they came from the left or right was difficult. It was found that sound images 3 times the threshold were necessary for left-right judgment except in those with a left/right threshold of 20 μ sec or lower. This study confirmed that left/right judgment of sound images lateralized by 3 times the threshold is possible in healthy individuals and that such sound images can be used as auditory stimuli with directionality. These findings are considered to serve as basic data in evaluating the use of auditory stimuli as therapeutic stimuli for patients with hemispatial neglect. Moreover, from the circumstances of correct answers for 1-time sound images and errors of median sound images, the distribution of the range recognized as median is considered to temporarily deviate toward the direction of sound image presentation. This is considered to result in the phenomenon that the position of a sound image presented immediately after such a sound image is heard as if it deviated farther from the previous sound image, and this phenomenon may be interpreted as resulting from auditory localization aftereffect.