《短 報》

サウンドスペースプロセッサ RSS-10 による
ヘッドフォン音方向覚検査の信頼性園田 茂^{*1} 榊原 美紀^{*1} 森 光代^{*1}
山本 純子^{*1} 岡島 康友^{*1} 千野 直一^{*2}Reliability of the Headphone Sound Localization Test Using
the RSS-10 Sound ProcessorShigeru SONODA,^{*1} Miki SAKAKIBARA,^{*1} Mitsuyo MORI,^{*1}
Junko YAMAMOTO,^{*1} Yasutomo OKAJIMA,^{*1} Naoichi CHINO^{*2}

Abstract: Reliability of the headphone sound localization test using the RSS-10 sound processor was examined in 15 healthy subjects without hearing difficulty. First, white noise and female voice were presented 3 times, respectively, in front of the subjects, and 30, 60, and 90 degrees toward the left or right. All sounds were clearly located extracranially in all subjects. Discrepancies between presented and answered angle of the sound direction were an average of 12 degrees per trial (SD=9, range 5-18 degrees) with white noise and an average of 11 degrees per trial (SD=8, range 1-19 degrees) for the female voice. Secondly, white noise was moved from one side to the other side within a period of 10 sec, drawing an arc in front of the subject. The average angle at which the subject felt that the sound reached midline was actually 11.1 degrees toward left when the movement was initiated from the left and 3.4 degrees toward the right when the movement was initiated from the right. Sound localization test using RSS-10 is sufficiently reliable for clinical use. (Jpn J Rehabil Med 1998; 35: 641-644)

要 旨: サウンドスペースプロセッサ RSS-10 を用いたヘッドフォン方式の音方向覚検査の信頼性を検討した。15名の難聴でない健康被検者を対象に、ホワイトノイズ (WN) および女声 (FV) を正面と、左右に30度, 60度, 90度の計7点より3回ずつ呈示した。音は全試行とも方向覚を持って聞こえ, 平均正答率62%, 呈示音と回答とのずれの角度は5~18度, 平均12度 (SD=9) (WN), 1~19度, 平均11度 (SD=8) (FV) であった。WNを左から右, 右から左に被検者の前を通るように約10秒で移動させ, 正中を通過したと感じられる時点の位置の平均はそれぞれ正面から-11.1度 (SD=8.0), 3.4度 (SD=7.5) であった。RSS-10を用いた音方向覚検査は再現性が高く, 臨床上有用と考えられた。(リハ医学 1998; 35: 641-644)

Key words: 音像定位 (sound localization), 失認 (agnosia), 信頼性 (reliability), 脳血管障害 (cerebrovascular disorders)

はじめに

されている。それに較べ, 聴空間における失認の研究は少ない¹⁻⁵⁾。

近年, 脳疾患における半側視空間失認が盛んに検討

音の方向覚を検査するには無響室において多方向か

1998年3月24日受付, 1998年7月17日受理

^{*1} 慶應義塾大学月が瀬リハビリテーションセンター/〒410-3293 静岡県田方郡天城湯ヶ島町月ヶ瀬380-2
Keio University Tsukigase Rehabilitation Center

^{*2} 慶應義塾大学医学部リハビリテーション医学教室/〒160-0016 東京都新宿区信濃町35
Department of Rehabilitation Medicine, Keio University School of Medicine

らのスピーカ音を識別させる方法¹⁻³⁾と、擬似的に方向感のある音をヘッドフォン上で再生させる方法⁴⁻⁸⁾とがある。後者は、横から聞こえる音の場合に音源と耳との距離が左耳と右耳とで異なることを利用し、左右の耳に届く音の位相や強度をずらして音を呈示することで実現されてきた⁴⁾が、音源定位能力は不十分であった。近年、人間の頭を模したダミーヘッドを用いて録音したり^{5,6)}、音伝達関数を計算する^{7,8)}ことで、より性能の良いヘッドフォン音源定位研究が行えるようになりつつある。しかし、高価なダミーヘッドを入手したり、複雑な伝達関数の計算をしなければならないため、簡単に活用することは難しかった。

われわれは、比較的安価に入手可能な音楽製作用サウンドプロセッサを用いた音伝達関数方式のヘッドフォン音源定位能力検査法を考案したので、その信頼性を報告する。

対象と方法

1. 対 象

対象は、健常成人 15 名、男性 5 名、女性 10 名、平均年齢 58 歳 (50~65 歳) である。聴力検査で全員が 1,000 Hz で 50 dB 以上、4,000 Hz で 60 dB 以上の難聴がなく、20 dB 以上の左右差もないことを検証した。

2. サウンドプロセッサと音の呈示

左右ヘッドフォンに出力する音を変化させることで方向感を付与する機器であるサウンドスペースプロセッサ (RSS-10, ローランド社) を用いた。音源から RSS-10 に入力した音を、付属コンピュータソフトの画面上でマウスにより指示した位置に定位させ⁷⁾、アンプ (SRA-50, ローランド社) で増幅した後、ヘッドフォンに出力した。音の呈示位置はマウス移動によりリアルタイムに動かすこともできる。

3. 使用 音

ホワイトノイズ (以下、WN と略す) はオーディオメータ (AA-71, リオン社製) より 125~15,000 Hz の広帯域雑音を発生させた。女声 (以下、FV と略す) は、「おーい、こっちだよ。どこだかわかりますか」という呼び声をテープレコーダに録音して用いた。

著者にオーディオメータ付属のヘッドフォンを装着し、外耳入口部に小型マイクを置いて RSS-10 を介さずに 70 dB・SPL の WN を流し、音圧を電圧として測

定した。さらに上記 RSS-10 システムを経由させた WN と FV の外耳入口部の小型マイクにおける電圧が、70 dB SPL の WN とほぼ同一となるよう音量を調節した。以下の測定にはこの音圧を用いた。

4. 信頼性検査

上記 RSS-10 を用い、被検者正面、正面から左右に 30 度、60 度、90 度の計 7 か所から、ランダムな順で各 3 回、計 21 回 WN と FV を呈示した。被検者は聞こえてきた方向を前方正面が 12 時、右 90 度が 3 時のように時計に模して口頭で回答した。

次に WN を円弧状に左から右、右から左へと被検者の前方を約 10 秒で移動させ、正中を通過したと感じられた時点 (移動音の正中知覚) で声を上げさせ、その時の提示音のコンピュータ画面上の位置をマークし正中からの角度として記録した。各 3 回行った。

5. 処 理

前方より聞こえる音を後方の同位置とまちがえる現象の頻度を測定した。以下の処理は 5 時を 1 時とするように後方の音を前方に折り返したのち行った。

各方向において健常者全員のずれの絶対値の平均 (右にずれても左にずれても正の値とした平均: 1 試行あたりの角度として示す)、系統的ずれの平均 (右へのずれは正の値として、左へのずれは負の値としての平均: 系統的誤差を示す)、ばらつき (標準偏差を平均で除した変動係数) を計算した。また全方向、左聴野、右聴野のみでも正答率、ずれの絶対値の平均、系統的ずれの平均を算出した。

移動音の正中知覚は、左から開始した場合と右から開始した場合別に平均値、変動係数を求め、対のある t 検定を行った。

なお統計処理は Statistica™ (Statsoft 社) を用いて行った。

結 果

前後方向を取り違える割合は WN で 29%、FV で 45% であった。方向覚の正答率、ずれの絶対値の平均、系統的ずれの平均、変動係数を表 1 に示す。平均正答率 62%、総じて 10 度程度の偏位であった。左右の誤認はどの試行においても認められなかった。精度面において WN と FV の違いは見られなかった。

表 2 に移動音の正中知覚の平均を示す。左からと右からの試行は有意に異なっており ($p=0.001$)、実際の正中に音源が達する前に正中と知覚する傾向が見ら

表1 音の方向覚の信頼性

	ホワイトノイズ(WN)							女声(FV)						
	正答率 %	平均値						正答率 %	平均値					
		ずれの絶対値の平均 度/回	SD	変動係数	系統적ずれの平均 度/回	SD	変動係数		ずれの絶対値の平均 度/回	SD	変動係数	系統적ずれの平均 度/回	SD	変動係数
9時(-90度)	51.1	15.3	±10.6	0.7	15.3	±10.6	0.7	73.3	8.0	±6.8	0.8	8.0	±6.8	0.8
10時(-60度)	68.9	9.3	±7.0	0.8	-1.3	±11.9	-8.9	62.2	11.3	±9.9	0.9	-0.7	±9.6	-14.4
11時(-30度)	62.2	12.0	±10.8	0.9	-4.0	±14.0	-3.5	46.7	16.0	±10.6	0.7	-8.0	±13.2	-1.7
12時(0度)	84.4	4.7	±7.4	1.6	0.7	±8.8	13.3	95.6	1.3	±3.5	2.6	0.0	±3.8	—
1時(30度)	51.1	16.0	±9.9	0.6	14.7	±9.2	0.6	40.0	19.3	±12.2	0.6	16.7	±15.9	1.0
2時(60度)	40.0	18.0	±6.8	0.4	12.7	±12.8	1.0	53.3	14.0	±9.1	0.7	12.7	±9.6	0.8
3時(90度)	71.1	8.7	±9.9	1.1	-8.7	±9.9	-1.1	66.7	10.0	±6.5	0.7	-10.0	±6.5	-0.7
左聴野	60.7	12.2	±9.5	0.8	3.3	±12.2	-3.9	60.7	11.8	±9.1	0.8	-0.2	±9.9	-5.1
右聴野	54.1	14.2	±8.8	0.7	6.2	±10.6	0.2	53.3	14.4	±9.3	0.6	6.4	±10.7	0.4
全聴野	61.3	12.0	±8.9	0.9	4.2	±11.0	0.3	62.5	11.4	±8.4	1.0	2.7	±9.3	-2.4

表2 移動音の正中知覚

	総平均値		
	度	SD	変動係数
左から開始	-11.1	±8.0	-0.7
右から開始	3.4	±7.5	2.2
全試行	-3.9	±3.6	-0.9

右から開始の平均と左から開始の平均との対のある t 検定は、 $t = -4.09$, $p = 0.001$

れた。

考 察

1. RSS-10 の表現する方向覚

本研究では、ヘッドフォン音像定位検査を入手の容易な市販品、RSS-10 を用いて行った。RSS-10 は、実験により定められた音伝達関数を再現することにより楽器や自然音の出力場所を定位させ、生で聞いているかの如く感じさせることを目的に開発された⁷⁾。このような音楽製作用技術を方向覚検査に応用した場合の信頼性は未だ確立されていない。そのため今回の検討がなされたわけである。

2. 誤 差

本システムで誤差を生じる要因としては、サウンドプロセッサのアルゴリズムに起因する方角の誤り、呈示する方角のマウス入力上の誤り、被検者の方角判断の誤り、被検者の表出上の誤りなどがある。今回の信頼性検討は、上記誤差のすべてを含んだ結果である。回答を 30 度間隔で求めて呈示音とのずれが 10 度前後であったことは、NASA の開発したヘッドフォン再生装置の平均ずれ 5 度⁸⁾ には及ばないものの、ダミー

ヘッド録音を用いた方向覚検査でのずれが平均 17 度との報告⁹⁾ と較べて良い精度である。系統的ずれの平均が小さかったことは一定方向への偏位がなかったことを示しており、安定した音呈示が行われた証拠と考えられる。音の種類による違いは、WN のほうが男声より定位しやすい症例が報告されている⁹⁾ が、今回は大きな差違は認められなかった。

3. 頭蓋内定位

頭の中に音が定位されてしまうことはヘッドフォンを使用した検査の問題点であり⁸⁾、特に正中間の呈示音に対する頭蓋内定位が著しいとされている⁷⁾。今回の試行では頭の外に音が定位されており、本システムは音の方向覚という概念を測定できると考えられた。

4. 音の折り返し現象

音の折り返し現象、すなわち、前から出した音が後ろから聞こえてしまう現象^{6,8)} は、このシステムでも存在していた。ヘッドフォンでは耳朶による音伝達関数の変化が再現しにくいと、前方へ折り返されると考えられる。この折り返しは完全に前後対称となっている保証はないが、今回の結果からは完全に対称として扱っても十分検査精度を上げられると考えられた。

5. 移動音の正中知覚

移動音の知覚は擬似的にスピーカ列の音を次々に再生させることで大脳半球切除例が報告されている¹⁰⁾ ものの正常者での反応は明確にされていない。今回のように移動音の開始聴野方向、すなわち本当の正中に達するより早く正中と感じてしまう原因としては、正中を宣言することが遅れてはいけないという心理的圧迫、RSS-10 の三次元音作成のアルゴリズムの不完全

さなどが考えられる。さらに検討を進めていきたい。

今後、今回の結果を基礎として、脳卒中など脳障害患者における音の半側空間失認の有無を検証する予定である。

本論文の要旨の一部は第35回日本リハビリテーション医学会学術集会にて発表した。

文 献

- 1) Tanaka H, Hachisuka K, Imamura Y, Ogata H, Inoue J: Sound localization in the horizontal plane in patients with supratentorial cerebrovascular disorders. *Jpn J Rehabil Med* 1995; **32**: 50-58
- 2) Haeske-Dewick H, Canavan AGM, Hömberg V: Sound localization in egocentric space following hemispheric lesions. *Neuropsychologia* 1996; **34**: 937-942
- 3) Soroker N, Calamaro N, Glicksohn J, Myslobodsky MS: Auditory inattention in right-hemisphere-damaged patients with and without visual neglect. *Neuropsychologia* 1997; **35**: 249-256
- 4) Yamada K, Kaga K, Uno A, Shindo M: Sound lateralization in patients with lesions including the auditory cortex: comparison of interaural time difference (ITD) discrimination and interaural intensity difference (IID) discrimination. *Hear Res* 1996; **101**: 173-180
- 5) 園田 茂, 野田幸男, 正門由久, 森 英二, 赤星和人, 大田哲生, 辻 哲也, 木村彰男, 千野直一: 音の方向覚(第1報)―健常者, 脳血管障害患者におけるヘッドフォン音像定位―. *リハ医学* 1993; **30**: 941-942(抄)
- 6) Wightman FL, Kistler DJ: Headphone simulation of free-field listening. II: Psychophysical validation. *J Acoust Soc Am* 1989; **85**: 868-878
- 7) 馬島良行, 今井敏彦, 菊本忠男: RSS方式-2chによる3次元立体音場録音方式の解説. *Jpn Audio Soc J* 1990; **30**(9): 1-5
- 8) McKinley RL, Erickson MA, D'Angelo WR: 3-dimensional auditory displays: development, applications, and performance. *Aviat Space Environ Med* 1994; **65** (5, Suppl.): A 31-A 38
- 9) Pinek B, Duhamel JR, Cavé C, Brouchon M: Audio-spatial deficits in humans: differential effects associated with left versus right hemisphere parietal damage. *Cortex* 1989; **25**: 175-186
- 10) Poirier P, Lassonde M, Villemure JG, Geoffroy G, Lepore F: Sound localization in hemispherectomized patients. *Neuropsychologia* 1994; **32**: 541-553