臨床耳鼻 : 第7卷 · 第2號 · 1996
Clin. Otol. pp 242~250
Vol. 7, No. 2, 1996

누가 현상과 청각 피로검사

경북대학교 의과대학 이비인후과학 교실
이상흔

Recruitment Phenomenon and Tone Decay Test

Sang Heun Lee, M.D.
Dept. of Otolaryngology, School of Medicine, Kyungpook National University

서 론

임상에서 전음성 난청과 감각신경성 난청을 감별진단하기 위해서는 기존의 여러 청력검사로서 비교적 손쉽게 선별이 가능하지만 특히 감각신경성 난청에서 청력장해의 국소 진단을 위한 방법은 아직도 여러가지 어려움이 많고 최근에는 여러 객관적 청력검사 방법이 도입되어 종합적으로 판정하고 있다. 그러나 기본이 되는 것은 역시 순음청력검사이며 이 중 누가현상과 청각피로검사는 외래에서 여전히 많이 이용되는 간편한 방법으로 감각신경성 난청중에서 미로성 난청과 후미로성 난청의 감별에 도움이 되는 검사방법이다. 이들 검사들이 비록 특이성에서 떨어진다 하더라도 추후 더 세밀한 검사를 위한 선별검사로서 잘 숙지하는 것이 필요하다고 생각된다.

누가현상 (Recruitment)

음의 크기를 나타내는 데는 물리적 양 즉 음의 강도 (intensity)와 감각적 양인 음의 크기 (loudness)가 있는데 사람에 있어서는 대개 이들 사이에 평행적인 관계가 있어 음의 강도를 증가함에 따라 음의 크기도 크지는 경향이 있다. 누가현상이란 자극음의 강도를 일정하게 증가시킴에 따라 느끼는 음의 크기가 비정상적으로 크게 증대되는 것으로 다시 말하면 역치상에 가청음역이 축소된 현상이다.

1928년 Fowler에 의해 처음 기술되어 1936년 recruitment로 명명하였으며 Fowler 현상이라고도 한다. 이 현상이 명확하게 양성인 경우는 내이유모세포의 병변을 나타내는 것으로 다른 난청과의 감별에 도움을 주나 위양성이 나타나기 쉬우므로 조심해야 한다.

누가 현상의 각종검사법

누가 현상검사는 역치상 청력검사 (suprathreshold test) 로서 청각 역치보다 충분히 강한 음을 이용한 검사 방법이다. 음의 크기를 어떻게 변화하느냐에 따라 직접법과 간접법이 있는데 직접법은 일측 귀가 정상일 때 환측귀에 들리는 음의 크기를 정상 귀의 크기와 비교하

KEY WORDS : Recruitment · Tone Decay Test

는 방법이며 간접법은 음의 크기의 판별역치를 측정하여 정상귀의 역치와 비교하는 것으로 양측성 난청일때 사용된다.

A. 음의 크기의 평형검사 (loudness balance test)

1. 양측귀 평형검사
2. 일측귀 평형검사
3. Bekesy 법

B. 음의 강도의 판별력 검사 (intensity difference limen test)

1. 진폭 변조법
2. 두음 비교법

C. SISI 검사

D. Uncomfortable loudness level test

A. 음 크기의 평형검사 (loudness balance test)

1. 양측이 교대 평형검사 (ABLB, alternate binaural loudness balance test)

이 방법은 누가 현상 검사법중에 가장 오래된 기본적인 검사로 Fowler test라고도 한다. 이것은 일측성의 감각신경성 난청에 사용되는데 양측 귀에 음을 들려주어 좌우가 동일하게 느끼는 음의 크기를 balance 시키는 방법으로 즉 환측 귀에 들려지는 검사음의 크기를 정상귀에서의 크기와 비교하는 것이다. 이 검사는 양측귀에 음을 교대로 들려주어 balance를 구하는 방법이며 양측귀에 동시에 음을 주는 경우는 ABLB가 아니다.

a) 검사의 적응대상

1) 일측의 청력이 정상에 가까운 경우

정상 귀의 청력이 전주파수에 걸쳐 정상이 아니고 일부 주파수에서 청력저하가 있는 경우에도 검사주파수를 선택하는데 주의하면 검사가 가능하다.

2) 환측의 청력이 건측과 20 dB 이상 차이가 나는 감각신경성 난청

일본 청각의학회에서는 좌우차가 15dB 이상인 경우 적응이 된다고 하나 실제에는 30 dB 이상 차가 나는 경우가 검사하는데 용이하다. 만약 환측 귀의 청력이 대단히 나쁘면 음영청취가 문제 될 수 있으므로 이런 경우는 누가현상이 없다고 할수 밖에 없다.

b) 검사방법

1) 검사음의 주파수 선택

미리 측정된 양측의 기도청력 역치 결과에 따라 검사하기에 적당한 주파수를 선택한다. 대개는 한쪽은 정상이고 다른쪽이 30 내지 40 dB 이상의 청력저하가 있는 주파수를 사용하는 경우가 많다.

2) 기준음과 기준 귀의 선택 (그림 1)

검사시에 어느쪽 귀를 기준 귀 (reference ear)로 하고 다른쪽을 가변귀 (variable ear)로 선택하는냐는 두가지 방법이 있다. 첫째는 환측 귀를 기준귀로 삼고 건측 귀를 가변 귀로 하는 방법이다.

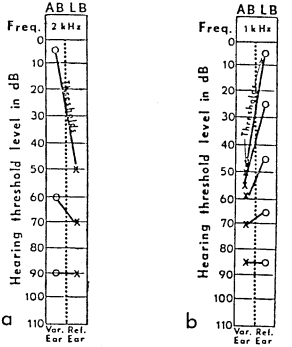

Fig 1. Laddergram method of plotting loudness balances.
A: poorer ear is fixed (reference) at 20 dB and 40 dB SL (2KHz).
B: better ear is fixed (reference) at 1 KHz.

이는 Jerger (1962), Priede 와 Coles (1974)가 제안하였고 일본 청각의학회에서도 이 방법을 따르는데 누가현상 존재 유무를 비교적

빨리 판단 할수 있으나 양성율은 떨어진다고 한다. 다른 방법은 건측귀를 기준귀로 삼는 방법인데 처음에 Fowler (1937)와 나중 Hood (1969)가 자세히 언급하였는데 비교적 양성율이 높고 음의 크기의 상승도를 비교적 상세히 검사할수 있다고 한다. Fritze (1978)는 일측성 와우이상을 가진 26명에서 조사 한바 Hood 방법에 의해서는 23명이 완전 누가현상을 보인 반면에 Jerger 방법에 의해서는 단지 8명만이 완전 누가현상을 나타내었다고 보고하였다. 기준음의 크기는 Jerger 는 20 dBSL 즉 역치상 20 dB 을 환측귀에 주고 검사후 40 dBSL, 60 dBSL 순으로 올린다. 다른 방법은 환측 귀에 UCL 이하의 강한 음 (90 dB 전후)을 고정 후 건측 귀에서 같은 크기의 음이 들리는 level을 조사 후 90 dB 에서부터 차차 10 dB 전후로 약하게 내리면서 계속 검사한다. Hood 방법에서는 건측 귀에 역치상 10 내지 20 dB 단계로 올리면서 같은 크기의 음을 환측 귀에서 조사한다.

3) 검사음의 제시 방법

검사음의 지속시간은 약 1초로 하고 양쪽 귀에 들려주는 시간은 같도록 해 주고 한쪽에서 다른쪽으로 바뀌는 시간은 될 수 있는 대로 짧게 해야 한다. 자극음은 지속시간 500 ms rise/fall 시간이 50 ms의 음이 좋다고 한다.

4) 검사의 순서

먼저 기준 귀에 일정 크기의 음을 고정후 가변 귀에 들려주는 음의 크기를 기준 귀에 들리는 음의 크기와 비교하게 한다. 가변귀에 들려주는 음의 크기는 처음에는 충분히 크게, 다음은 아주 약하게 다음은 약간 크게, 약간 약하게 번갈아 주어 같은 크기를 찾게 한다. 실제에 있어서 양쪽귀에 크기가 똑같은 것을 찾는 것은 쉽지 않으므로 피검자로 하여금 어느쪽이 큰지, 작은지, 잘 모르겠다. 3가지 중 대답하라고 지시하는 것이 간편할 때가 많다.

c) 검사시 주의사항

검사시에 피검사에게 다음사항을 설명하여 주는 것이 필요하다.

1. 양쪽귀에 교대로 들리는 음을 비교하는 것이다.

2. 들리는 음의 크기를 비교 조절하는 것은 가변 귀에서 하도록 한다.

3. 양쪽귀의 음 크기의 차이가 최소가 되게 가변 귀의 크기를 검사자가 조정한다.

4. 음질이나 pitch가 다른 것은 무시하고 음의 크기 만을 판단하도록 해야한다. 일측의 감각신경성 난청이나 이명이 심한 환자등에서는 특히 응답이 불확실하여 검사가 곤란한 경우도 있다.

d) 검사 결과의 기록

청력검사지에 측정된 주파수 선을 중심으로 좌측에 기준 귀의 청력 level을 기록하고 우측에는 가변 귀와 같은 크기로 판단되는 음의 청력 level을 기입한 후선으로 서로 연결한다. 같은 크기를 구할수 없는 경우는 가변 귀에서 보다 작게 들리는 검사음의 최대 level과 보다 크게 들리는 검사음의 최소 level 양자간을 구하여 이들의 평균치를 기준 귀의 크기와 연결하든지 기준 귀와의 사이에 > 와 < 기호로 표시하기도 한다.

e) 결과 판정 (표 1, 그림2 와 3)

1. 완전 누가현상 (complete recruitment)

좌우 청력역치의 차와 관계없이 최대 강도 (90 dB 등)에서 좌우가 거의 같은 크기로 들리는 경우 (HLS±10 dB).

2. 불완전 누가현상 (incomplete recruitment)

최대 강도에서 청력손실이 심한 쪽이 아직 적게 들리는 경우

3. 과잉 누가현상 (over recruitment)

최대 강도에서 청력손실이 심한 쪽이 오히려 크게 들리는 경우

4. 누가현상 음성 (no recruitment)

음의 강도를 증가시켜도 좌우의 청력역치의 차가 거의 유지되는 경우 (SLS±10 dB).

크기의 차이를 구별할 수 있는 역치를 구한다.

기준음은 약 1초간 주고 0.5초 후에 변화음을 준다.

Table 1. Criteria for Interpretation of Loudness Balance Resul

Classification	ABLB or MLB Results *
No recruitment	Equal loudness at equal sensation levels±10 dB
Complete recruit-ment	Equal loudness at equal hearing threshold levels (or intensities) ±10 dB
Partial recruitment	Equal loudness between complete recruitment and no recruitment
Decruitment	Equal loudness with 10 dB or greater sensation level in the poor ear than in the good ear

* ABLB=alternate binaural loudness balance; MLB=monaural loudness balance.

3. Bekesy tracking method

Bekesy 청각도상 단속음 interrupted tone의 진폭이 정상귀에 대개 10 dB 내외이나 내이성 난청에서는 현저히 좁아지고 II형의 tracing을 나타낸다.

C. SISI 검사 (Short increment sensitivity test)

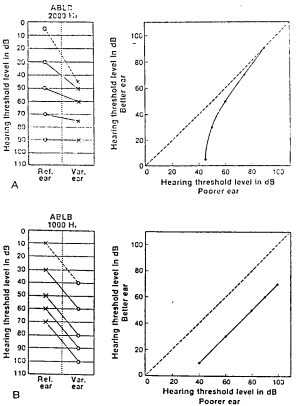

Fig 2. Potting loudness balance results by laddergrams or graph, (A) Complete recruitment (B) No recruitment.

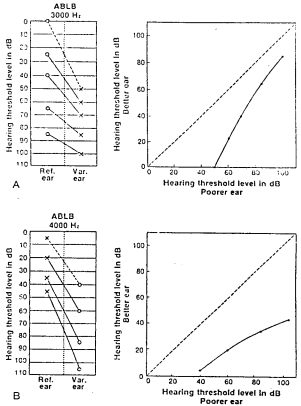

Fig 3. Potting loudness balance results by laddergrams or graph, (A) Partial recruitment (B) Decruitment.

누가현상의 검사중 Fowler 검사는 양쪽귀가 같은 형의 감각신경성 난청일 때는 응용되지 않고 판별역치 (DL) 검사는 한쪽 귀에서 할 수 있으나 맥음변동을 감지하는데 익숙하지 않으면 판단이 곤란하고 정량화가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하고 검사법을 규격화, 간편화 하며 data 처리도 간단히 할 수 있게 한 것이

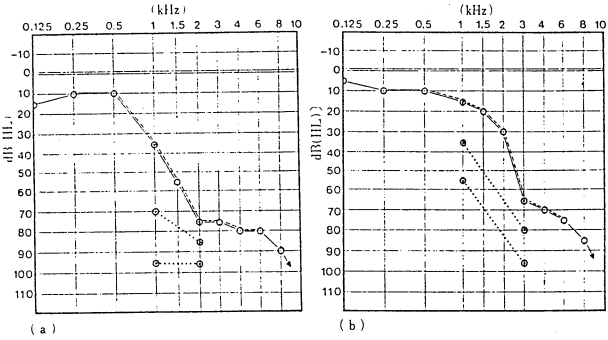

Fig 4. Monoaural loudness balance test.
(A) Positive recruitment (B) negative recruitmentFig 5. Amplitude modulation by Luscher method.

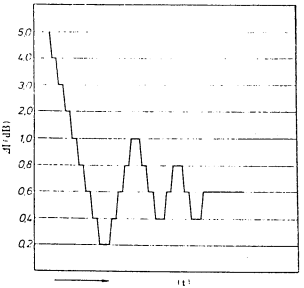

Fig 5. Amplitude modulation by Luscher method.
DL for this case is 0.6 dB.

SISI 검사로 1959년 Jerger에 의해 발표되어 아직도 비교적 많이 이용되고 있는 검사방법이다.

1. 원 리

이 검사는 판별역치검사에서 발전되었지만 음의 크기의 판별력 그 자체를 측정하는 것이 아니고 역치상 일정한 순음을 연속적으로 들려줄 때 수초 간격으로 짧은시간 동안 음의 크기를 증가시켜 (short increment)이 짧은 일정 크기의 증폭된 음을 몇 % 감지하는지를 조사하는 일측 귀에서 행하는 검사이다.

감지하는 율이 높은 경우에는 음의 강도의 변화폭에 대하여 음의 크기의 감각적 변화폭이 크다고 보아 누가현상 양성이라고 한다.

2. 검사방법

a. 주파수 선택

검사는 일반적으로 두가지 주파수를 사용하는데 보통 1000, 4000 Hz로 검사한다. 누가 현상이 인정되는 와우장해에서도 검사음의 주파수에 의해 SISI 양성율이 차이가 나서 250, 500 Hz는 0~20%, 1000 Hz는 40~60%, 2000, 3000, 4000 Hz 에서는 80~100%가 된다고 하므로 고주파수를 사용하는 것이 양성율이 높고 위음성 반응을 감소시킬수 있다고 한다.

b. 검사음

지속되는 순음을 역치상 20 dB로 주고 여기에 5초 간격으로 200~250 msec 동안 통상 1

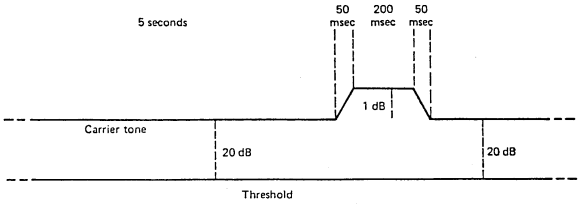

Fig 6. Signal for SISI.

Table 2. Masking for Short Increment Sensitivity Index (SISI) Test

When to mask : SISI HTL-IA=BC_{nte}*

Effective masking level : EM=SISI HTL2IA+ABGnte**

* Mask when the hearing level dial setting for SISI, minus the interaural attenuation (IA) for the test tone is equal to or higher than the bone-conduction (BC) threshold of the nontest ear (nte).

** The effective masking (EM) level is equal to the hearing level dial setting for the SISI, minus the interaural attenuation, plus any air-bone gap (ABG)at the test frequency in the nontest ear.

dB increment를 가한다 (그림 6).

만약 감자기 1 dB 에서 시작하든지 혹은 5 dB increment에서 바로 1 dB로 내려오면 적당한 검사가 되지 않으므로 보통은 5 dB, 4, 3, 2 dB 순으로 내려와서 1 dB에 대한 결과로 이어지게 하는 것이 정확하다.

c. 피검사의 응답

20회의 증폭에 대한 응답수를 백분율로 나타내는데 중간중간에 점검을 하는 것이 좋다. 응답이 계속해서 없는 경우는 5 dB 올려서 확인하고 만약 계속해서 응답이 있는 경우는 증폭없이 들려주어 응답이 없는 것을 보아 검사가 잘 진행되는 것을 확인한다.

만약 10회로서는 충분한 응답이 가능하면 10회로서 검사를 끝내기도 한다.

d. 차 폐

검사시 반대측 귀에 차폐를 하지 않으면 안되는 경우가 있는데 즉 SISI HL setting치와 interaural attenuation (IA)의 차이가 반대측 귀의 골도치 이상인 경우에 시행하고 차폐 level은 SISI HL에서 IA를 뺀 수치에서 반대측 귀의 기도 골도차를 합친 양이 좋다 (표 2).

3. 판 정

SISI score가 70%이상 일 때 양성으로 판정하고 이는 와우장해를 시사한다고 하겠다. 그러나 연구자에 따라서는 후미로 병변에서도 다양하게 보고되고 있다. 한편 score의 평가에 대하여 80~100%는 high, 0~20%는 low로 확실히 구분되나 25~75%인 경우는 아무래도 진단적인 의미가 없다고 볼수 있다.

D. 불쾌 level 검사 (UCL, uncomfortable loudness level test)

1. 원리

들리는 음을 강도를 점점 크게 하면 가청역치와 패적 level을 지나 불쾌 level와 통각역치등으로 이어지는데 불쾌 level은 전음성 난청에서는 난청의 정도에 비례하여 높아지는데 누가 현상 양성의 감각신경성 난청에서는 정상과 거의 차이가 없다.

2. 측정방법

먼저 피검자에게 불쾌음에 대한 설명을 충분히 한후 최소 가청역치를 구하고 청력 level을 60~70 dB 근처 부터 5 dB 간격으로 점점 크게 하면서 검사한다. 정상귀에서의 UCL은 대개 90~100 dB 전후이다. 각 level에서 들려주는 시간은 약 1초이고 한 주파수당 보통 3회 정도 반복한다. 기록은 청력검사지에 U, V 등으로 표시한다.

3. 평 가

보청기의 적합검사등에서 dynamic range로서 불쾌 level과 최소가청역치의 차이가 이용되고 있으나 또한 누가 현상 여부도 UCL로서 판정이 가능하다. 그러나 개인과 질환에 따라 변화가 심하여 판정하는데 어려움이 많으나 단시간내에 측정이 가능하고 장치도 간편한 이점이 있다.

청각 피로검사 (Tone Decay Test)

순음을 일정한 강도로 장시간 들려주는 경우 청력역치의 일과성 변동 (TTS)을 가져오는데 이것은 청신경섬유의 비정상적 순응 혹은 청각피로라고 불리고 특히 후미로성 난청에서 중요한 의미를 가진다. 비교적 검사가 간편하고 특별한 기기가 필요 없어서 아직도 임상에서 많이 사용되고 있는 방법이다. 여기에는 청력역치 근처에서 검사하는 역치 청각 피로검사 (threshold tone decay, TTD)와 역치보다 훨씬 큰 크기에서 행하는 역치상 순응검사 (suprathreshold adaptation test, STAT)가 있고 또한 검사기기에 따라서 보통의 청력검사기와 Bekesy 검사기에 의하여 검사 할수 있다. 검사 방법은 여러 방법이 각 연구자 마다 변형되어 소개되고 있으나 가장 흔히 사용되는 방법들은 다음과 같다.

1. 역치 청각 피로검사 (TTD)

Carhart (1957)가 보고한 방법이 가장 보편적으로 사용되고 있는데 이는 Hood (1956) 방법과 거의 유사하나 Hood 방법에서는 음의 크기를 증가함에 휴식시간이 매번 1분가량 있으나 Carhart에서는 자극에 따른 휴식시간이 없는 것이 특징이다.

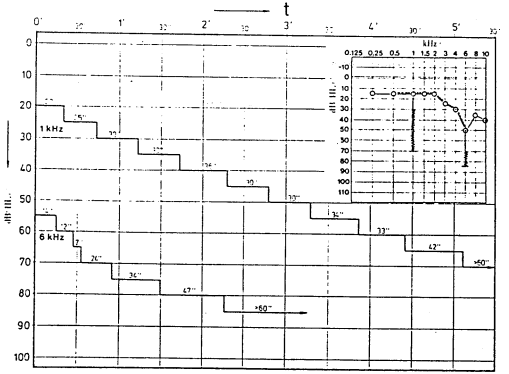

Fig 7. Threshold tone decay (TTD) method.

a) 검사방법 (그림 7)

먼저 피검자의 최소 가청역치를 측정한 후 일정 역치 (SL) 에서 시작하여 짧은 지속음으로 들려주어 들리지 않으면 손가락으로 신호하고 바로 5 dB 간격으로 매번 상승시켜 총 1분간 몇 dB 상승시켰는지를 기록한다. 검사시 시작하는 역치는 최소 가청역치에서 출발할 수도 있으나 Olsen과 Noffsinger (1974)는 20 dB SL에서 시작하는 것이 후미로 난청례에서 균등하게 예민하게 나타나고 시간도 절약된다고 보고하고 있다.

b) 판정

Rosenberg (1958)은 역치 상승 dB를 중심으로 다음과 같이 분류하였다.

0 to 5 dB — normal
10 to 15 dB — mild
20 to 25 dB — moderate
30 to 이상 — marked

대부분의 다른 연구자들도 30 dB 이상일 때 청각 피로 양성으로 판정하고 있으나 일단 15 dB이상이면 후미로 난청이 있을 가능성을 염두에 두어 추가 검사를 해야한다. 청각피로가 클수록, 해당되는 주파수가 많을수록 (특히 저주파수에서) 병변은 더 현저하다고 할 수 있고 청신경 종양에서는 Johnson (1966)은 종양 크기와 청각피로 정도와도 직접적인 관계가 있다고 하였다. 필요에 따라서는 누가현상 검사와 병행하면 국소진단에 많은 도움을 준다.

2. 역치상 순음검사 (STAT)

Jergeret (1975)가 제안한 방법으로 비교적 간단한 검사방법인데 가장 큰 검사음 강도로서 1분간의 반응정도를 보아 청각피로 현상을 판정하는데 검사음 주파수는 500, 1000, 2000 Hz에서 보통시행한다.

a) 검사방법

피검자에게 검사 귀에 음을 들을 수 있을 때까지 신호하도록 하고 반대측 귀에는 백색 잡음을 90 dB SPL로 차폐한다. 이어서 500 Hz의 지속음을 110 SPL 주어 1분간 계속 들을수 있으면 음성 못 들으면 양성으로 판정한다. 정확성을 판단하기 위하여 양성인 경우에 검사음을 맥음 (pulsed tone)으로 1분간 주어 맥음에서는 들을수 있으나 지속음에서는 못 들으면 검사의 신뢰성이 있다고 하겠고 이어서 1000 Hz와 2000 Hz에서 같은 방법으로 시행한다.

b) 검사시 주의사항

대개의 순음청력검사기는 hearing level (HL)로 조절되어 있기 때문에 110 dB SPL의 sound pressure level (SPL)로의 전환은 대강 500 Hz, 2000 Hz=100dB HL, 1000 Hz=105 dB HL로 하면 된다.

3. Bekesy 형 자기청력검사기를 이용한 청각피로 검사

Reger 와 Kos (1952) 와 몇몇 연구자들에 의해 Bekery 자기 청력검사기로서도 청각피로 검사 여부를 알수 있는데 Jerger의 분류상 III, IV형에서 지속음과 단속음의 간격이 25 dB 이상일 때 의미가 있고 또한 고정주파수 방식이 피로검사에 더 유익하다고 한다.

참 고 문 헌

1. Carhart R : Clinical determination of abnormal auditory adaptation. Arch otolaryngol 65 : 32~39, 1957
2. Fowler EP : Marked deafened areas in normal ears. Arch Otolaryn 8 : 151~155, 1928
3. Fowler EP : The diagnosis of deseases of the neural mechanism of hearing by the aid of sounds well above threshold. Trans Am Otol Soc 27 : 207~219, 1937
4. Fritze W : A computer-controlled binaural balance test. Acta Otolaryngol (Stockh.) 86 : 89~92, 1978
5. Green DS : Tone decay : In Katz J Handbook of clinical audiology (3rd ed) Williams and Wilkins Baltimore pp304~318, 1985
6. Hood JD : Fatigue and adaptation of hearing. Br Med Bull 12 : 125~130, 1956

7. Hood JD：Basic audiological requirements in neuro-otology. J. Laryngol otol 83：695～711, 1969
8. Jerger J：Hearing tests in otologic diagnosis. Asha 4：139～145, 1962
9. Jerger J：The SISi test. Int Audiol 1：246～247, 1962
10. Jerger J, Jerger s：A simplified tone decay test. Arch Otolaryngol 101：403～407, 1975
11. Johnson EW：Confirmed retrocochlear lesions. Arch Otolaryngol 84：247～254, 1966
12. Luscher E, Zwislocki J：A simple recruitment phenomenon (difference limen in intensity in different types of deafness). Acta Otolaryngol 78：156～168, 1949
13. Olsen WO, Noffsinger：Comparison of one new and three old tests of auditory adaptation. Arch Otolaryngol 99：94～99. 1974
14. Priede VM, Coles RRA：Interpretation of loudness recruitment tests-some new concepts and criteria. J Laryngol Otol 88：641～662, 1974
15. Reger SN, Kos CM：Clinical measurements and implications of recruitment. Ann Otol Rhinol Laryngol 61：810～823, 1952
16. Rosenberg PE：Rapid clinical measurement of tone decay. Paper presented at the American Speech and Hearing Association Convention, New York, 1958