

개에서 Brain-stem Auditory Evoked Responses를 이용한 Deafness 진단

윤영심 · 연성찬 · 권오경 · 남치주
서울대학교 수의과대학

Brain-stem Auditory Evoked Responses as a Diagnostic tool for Deafness in Dogs

Young-shim Yoon, Sung-chan Yeon, Oh-kyeong Kweon and Tchi-chou Nam
College of Veterinary Medicine, Seoul National University

ABSTRACT : These experiments were designed to evaluate the possibility of brain-stem auditory evoked responses(BAER) as a diagnostic tool for deafness in dogs. The BAER was recorded from three different groups of dogs; the normal dogs; dog with otitis externa and dogs with unilateral destruction of cochlear. BAER of the normal dogs was consisted of distinct five peaks(I, II, III-IV, V). Furthermore, the clear shapes of waveform were observed at 85 dB. The latency of BAER was increased with reducing the intensity of sound-stimulus. The highest threshold of BAER was measured at 2 KHz with 10~30 dB. Dog with otitis externa demonstrated unclear shapes of BAER compared to the that of normal dogs. In the dogs with unilateral destruction of cochlear, the flat and indistinct waveform of BAER was recorded from the cochlear destroyed ear while that of BAER from normal side of ears did not show any differences from the normal BAER. These results indicate that the BAER can be clinically used in order to diagnose the deafness in dogs.

Key words : BEAR (brain-stem auditory evoked response), deafness, dog

서 론

Deafness는 크게 conductive deafness와 neurosensory deafness로 분류할 수 있으며 전자는 귀 내 분비물의 과다한 축적, 고막손상, 심한 외이염 및 중이염 등에 의하여 발생하는 것으로 알려진 반면, 후자는 유전적 요인, 약물중독, 노령 등이 원인에 의해 감각신경세포의 기능이 저하됨으로써 일어난다고 밝혀져 있다^{14,22}. 약물중독으로 인한 청력의 손실로는 aminoglycosides의 중독에 의한 예가 보고되어 있으며¹³, 특히 임상에서 많이 사용되고 있는 gentamicin과 streptomycin이 전정기관에 가장 독성이 큰 것으로 알려져 있다^{26,25}.

Deafness 진단방법에는 손뼉을 치거나 문을 세게 닫아 동물의 반응을 보는 행동학적 평가방법 및 귀 내의 노폐물, 이물 및 감염 등의 유무와 외이도나 고막에 이상이 있는지를 임상적으로 검사하는 평가방법이 있다. 행동학적 평가는 동물이 손뼉이나 문닫는 소리에

쉽게 적응하여 반응을 보이지 않게 되기 쉬우며, 청각 손실이 편측성인 경우 이를 진단하기 어렵다는 단점이 있다. 최근에는 진단기기를 통해 deafness를 진단할 수 있으며, 특히 BAER(Brain-stem Auditory Evoked Responses)은 편측성 또는 양측성으로 오는 청각의 손실을 구별할 수 있을 뿐만 아니라 부분적 청각손실의 정도를 정확하고 객관적으로 진단하는데 유용한 방법으로 알려져 있다^{15,21,36}.

1940년대 초에 BAER 기록에 대한 초기 연구가 시작되었으며, 박쥐와 고양이를 실험대상으로 하였다¹⁸. 1970년대에는 좀더 진보된 방법으로 BAER의 반복되는 파형을 평균화하여 기록하기 시작하였다¹⁹. Sims와 Moore³²는 BAER 검사에 컴퓨터 시스템을 이용한 두뇌 청각로의 전기적 활성도를 관찰하고자 하였다. 이들의 연구결과 정상견에서 BAER 유형중 early and middle latency components에 대해 보고하였다. Buchwald 등⁴은 고양이에서의 middle and long latency response에 대하여 보고한 바 있다.

Chiappa⁵는 BAER의 각 파형에 대하여 파형 I은 원

¹Corresponding author.

위 전정와우신경(제 8뇌신경)에 관련된 것이며 파형 II는 와우핵 및 제8뇌신경의 일부에서, 파형 III는 superior olivary complex에서 비롯된 것임을 보고 하였고, IV와 V는 그 유래에 대해 아직 연구중이다. Redding과 Myers³¹는 wave VI, VII에 대해서도 해석한 바 있으나 그 파형이 불확실하여 임상적으로 사용하지 않는다고 하였다.

Dalmatian dog를 대상으로 Halliday 등¹⁷과 Anderson 등¹이 BAER을 이용하여 청력검사를 실시한 바 있으며 또한 strain³⁶은 Boston Terrier의, Steinberg 등³⁵은 Pointer dogs의 BAER 결과를 보고하였다. 고양이 deafness에 대해서도 연구 보고된 바 있다^{2,3,6,7,29}.

국내 수의학분야에서는 BAER을 통한 deafness 진단을 시도한 자료가 거의 없다. 이에 본 실험에서는 정상견과 deafness견의 BAER 결과를 비교 분석함으로써 deafness 진단에 이용할 수 있는 객관성 있는 자료를 얻고, 이를 바탕으로 청각손실의 정도를 명확히 판정하고자 하였다. 나아가 애완견을 비롯하여 군견, 경찰견, 마약 탐지견, 맹도견 등 훈련을 필요로 하는 특수견의 청각기능 검사에 활용하고자 본 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

실험동물

외이염 병력을 가진 임상례 1두에서, 수술적으로 와우를 제거한 3두에서, 그리고 대조군은 생후 1년령의 잡종성견 3두에서 각각의 BAER을 기록하였다 (Table 1).

본 실험에서 사용한 외이염견은 2.6 kg의 암컷 푸들로서 5년 전부터 외이염 치료를 받기 시작하였으며, 4년전 Zepp's method를 수술받은 경험이 있는 만성 외이염 환축이었다.

Complete deafness를 유발하기 위해 수술적으로 오른쪽 귀의 와우를 제거하였다. Zolazepam+tiletamine (Zoletil[®], virbac) 10 mg/kg을 근육주사하여 전신마취를 하고 lidocaine으로 부분마취를 한 후, 10번 외과도로 수직외이도를 절개한 후 수평외이도가 노출되도록 retractor로 슬야를 확보하였다. Ear speculum를 통하여

수평외이도를 들여다보면서 고막을 확인한 후 sickle knife를 이용하여 고막을 원형으로 절개하였다.

고막 제거 후 내측의 round window를 확인하여 dental drill로 이 round window를 넓혀줌으로써 와우를 노출시킨 후 제거하였다. 수술과정에서의 귀지 및 출혈은 alligator forcep과 suction으로 제거하였다.

BAER검사

Deafness진단기기는 Electric Response Audiometer Model TA-1000(Teledyne avionics Co., U.S.A)을 이용하여, 이어폰과 침전극을 연결하여 BAER을 측정하였다. 실험견은 zolazepam+tiletamine(Zoletil, virbac) 10 mg/kg을 근육주사하여 전신마취한 후 동물보정용 고정틀에 두부를 고정하여 검사에 용이하도록 하였다.

전극 장착부위는 좌우측 귀 뒷부분의 유두돌기 부위와 머리중앙에 모두 3개의 침전극을 장착하였으며, test전극을 우측에, ground전극을 좌측을 하였다. 이어폰은 좌우측 귀에 모두 장착하되 이도(ear canal)와 이어폰 사이에 공간이 생기지 않도록 장치하였다.

실험에 사용된 소리 자극은 다음과 같다. 소리의 높낮이는 2, 4 및 6 KHz를 사용하였으며, 각 KHz별로 소리 크기를 85 dB부터 15 dB까지 10 dB 간격으로 낮추어 가면서 BAER을 측정하였다. 본 실험에서는 1초당 20회의 소리 자극에 대한 반응 1024개를 평균하여 하나의 파형으로 기록하도록 채널을 고정하였다.

통계처리

각 군별 BAER 파형의 차이는 Student t-test를 이용하여 유의성을 검정하였다.

결 과

BAER을 통한 개에서의 deafness 진단 가능성을 알아보기 위해 실시한 정상견과 deafness견의 BAER결과는 다음과 같다.

정상견의 BAER측정

BAER 파형의 파형 I, II, III-IV, V가 85dB에서 가장 명확하게 관찰되었다. 소리 자극의 정도가 작아질수록 각 파형의 latency가 증가하고 진폭은 감소하는 경향을 보이다가 25dB부터는 소리의 자극과는 무관한 파형이 나왔다(Fig. 1).

2 KHz일 때 소리 자극의 크기 변화에 따른 파형 II의 latency는 85 dB에서 1.00 ± 0.08 ms, 75 dB에서 1.13 ± 0.05 ms, 65 dB에서 1.30 ± 0.00 ms, 55 dB에서

Table 1. Experimental design

Group	No. of dog
I (normal)	3
II (otitis externa)	1
III (cochlear destruction)	3

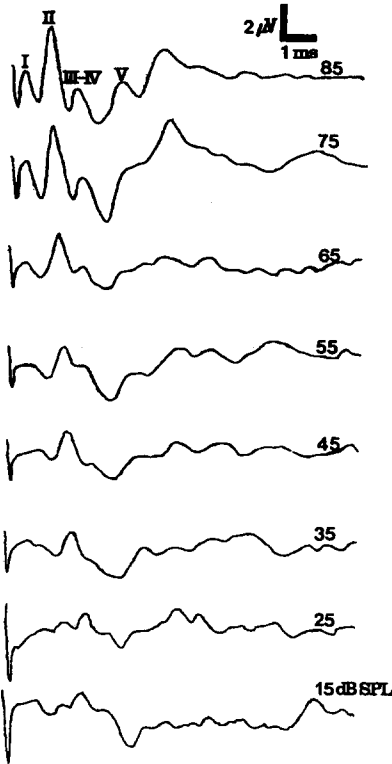


Fig 1. BAER from normal dog (6 KHz).

1.50±0.08 ms, 45 dB에서 1.80±0.14 ms, 35 dB에서 1.80±0.10 ms, 25 dB에서 2.50±0.00 ms로, 소리 자극의 크기가 감소함에 따라 latency가 증가였다. 뿐만 아니라 4 KHz와 6 KHz에서 관찰되는 소리 자극의 크기 변화에 따른 BAER도 같은 경향으로 관찰되었다.

역치는 2 KHz에서 20~40 dB, 4 KHz에서 10~20 dB, 6 KHz에서 10~30 dB로서 2 KHz에서 가장 높게

Table 2. Latency of BAER wave II in normal dogs in relation to stimulus intensity and frequency

dB SPL	Frequency (KHz)		
	2	4	6
85	1.00±0.08*	1.10±0.08	1.17±0.05
75	1.13±0.05	1.20±0.08	1.23±0.09
65	1.30±0.00	1.33±0.12	1.40±0.08
55	1.50±0.08	1.43±0.05	1.50±0.00
45	1.80±0.14	1.67±0.05	1.67±0.05
35	1.80±0.10	1.83±0.05	1.87±0.05
25	2.50±0.00	2.05±0.05	2.20±0.00
15	----	2.30±0.00	2.40±0.00

*: ms

Table 3. Threshold in normal dogs

Dog No.	Frequency (KHz)		
	2	4	6
1	20*	20	30
2	30	10	10
3	40	20	30

*: dB SPL (sound pressure level)

나타났다(Table 2, 3).

외이염견의 BAER 측정

정상견에 비해 파형의 형태가 명확하지 않았으며 역치에 있어서 2, 4, 6에 따라 각각 50, 40, 40 dB로 정상견에 비하여 전체적으로 높았다. Latency도 2 KHz 일 때 85 dB에서 1.2 ms, 75 dB에서 1.5 ms, 65 dB에서 1.8 ms, 55 dB에서 2.0 ms로 정상견의 2 KHz에서 관찰되는 latency에 비해 길어지는 경향을 보였다. 또한 4와 6 KHz에서 관찰되는 latency도 정상견에서보다 길게 관찰되었다(Fig 2-4).

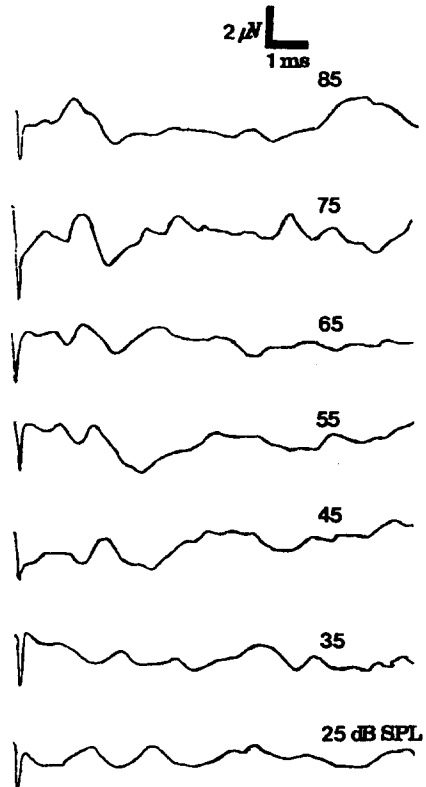


Fig. 2. BAER from a dog with otitis externa (6 KHz).

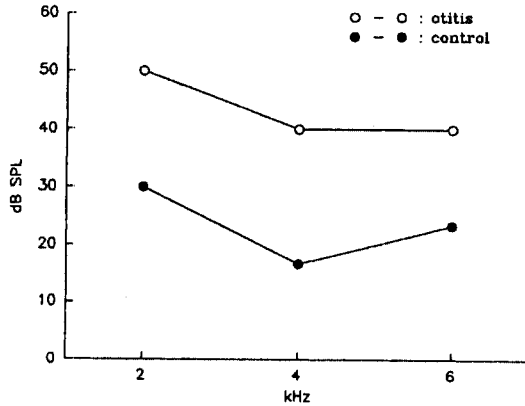


Fig. 3. Threshold of a dog with otitis externa.

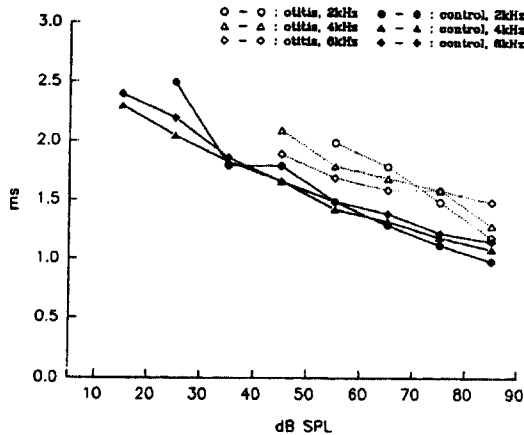


Fig. 4. Latency of BAER in a dog with otitis externa.

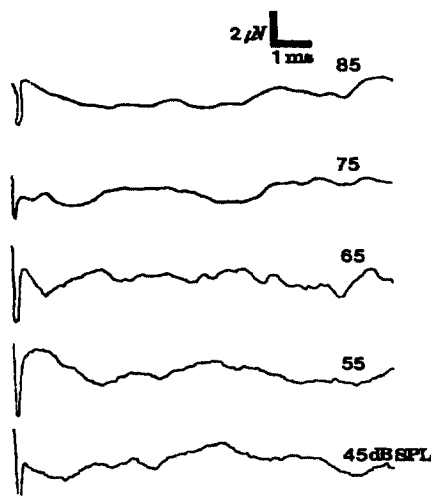


Fig. 5. BAER recorded from a dog with complete deafness (6 KHz).

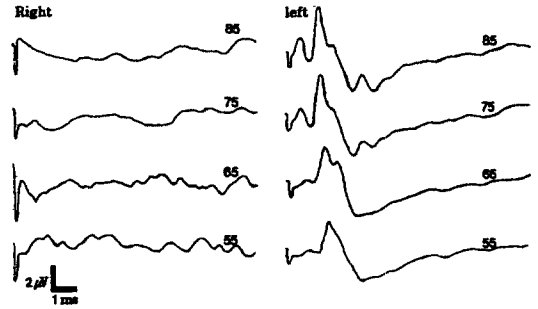


Fig. 6. BAER Responses of left and right ear in right cochlear destroyed Dog (6 KHz).

와우제거건의 BAER 측정

소리 자극에 대해 나타나는 파형은 일정한 형태를 보이지 않았으며, latency 또한 소리의 크기와 관련성을 나타내지 않았다(Fig 5).

실험에 사용한 개중에서 한마리를 선택하여 수술하지 않은 귀(좌측귀)의 BAER을 기록하여 확인해 본 결과 파형의 형태가 정상견과 동일하게 관찰되었으며, 역치는 2, 4, 6 KHz에 따라 각각 20, 10, 10 dB이었다. Latency는 2 KHz일 때 85 dB에서 1.1, 75 dB에서 1.2, 65 dB에서 1.4, 55 dB에서 1.6, 45 dB에서 1.8, 35 dB에서 2.2, 25 dB에서 2.6 ms로 소리 자극의 크기가 감소함에 따라 점차 증가하였고, 4와 6 KHz에서도 동일한 경향으로 관찰되었다(Fig. 6).

고 찰

해부학적으로 귀는 외이, 중이, 내이로 구분된다. 외이만을 외견상 볼 수 있으며 중이와 내이는 측두골 속에 위치한다. 외이는 귓바퀴와 외이도로 구성되며 공기진동을 외이도를 거쳐 고막에까지 전달하는 통로의 기능을 수행한다⁹. 중이는 고막의 내측을 의미하며, 이소골(malleus, incus, stapes)이 자리하고 있다. 내이는 와우, 전정, 반고리관으로 구성되며, 진동의 빈도에 대하여 와우내에 존재하는 hair cell stereocilia가 전기적 활성 변화를 나타내게 되고, 이러한 전기적 변화에 의해 spiral ganglion neurons이 탈분극되면서 와우신경을 통해 중추신경계에 소리를 전달하게 된다³⁰.

Deafness 진단방법에는 행동학적 평가로서 손뼉을 치거나, 문을 세계 닫아 동물이 돌아보는 반응의 유무에 의한 방법과 신체검사를 통 귀에 노폐물 및 이물, 감염, 등의 유무를 살피고 외이도와 고막에 이상이 있는지를 관찰하는 방법이 있다. 뿐만 아니라 진단기기를 통한 방법이 있는데 여기에는 Impedance audiometry

와 BAER이 이용되고 있으며 심도있는 진단을 위해서는 후자인 BAER을 많이 이용한다.^{8,12,18,23,28,37.}

BAER이란 소리자극에 대한 두뇌 청신경로의 반응을 모니터상에 기록하는 것을 말한다. 동물을 진정 또는 마취시킨 후 기기에 연결된 이어폰을 양쪽 귀에 장착하고 전극 세 개를 좌우측 귀 뒤의 유두돌기 부위와 머리 중앙에 장착하여 BAER을 기록할 수 있다. 일정한 크기의 소리자극을 지정하면 이어폰을 통해 동물에게 소리가 전달되고 이에 대한 뇌파가 모니터상에 기록된다.

BAER의 주된 판독 기준에는 latency 및 역치 등이 있으며, latency란 소리자극이 가해진 시점으로부터 반응이 나타나기까지의 시간을 말하며, 역치는 소리 자극의 크기를 감소시킴에 따라 BAER 파형과 무관한 파형이 기록되기 시작하는 시점이며 가청범위 이하의 소리임을 의미한다.

Sims 등³³은 임상적으로 정상인 개의 BAER에 대한 연구를 하였는데 그 파형에서 III와 IV가 복합되어 나타난다고 하였다. 본 실험에서도 정상견에 관찰되는 파형이 소리의 크기가 가장 큰 85dB에서 파형 I, II, III-IV 및 V로 관찰되었으며, III과 IV는 복합되어 나타났다(Fig 1).

Latency는 각 파형별로 측정하기도 하지만, 본 실험에서는 이중 진폭이 가장 큰 파형 II로 latency의 경향을 파악하였다.

Kay 등²⁰은 양측성으로 우측귀와 좌측귀 모두 측정 한 결과, 80 dB부터 0 dB까지 BAER을 기록하였을 때 latency가 증가하는 경향을 보였다고 보고하였다. 본 실험에서도 85 dB부터 점차 dB의 정도를 감소시킴에 따라 latency가 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다(Table 2).

일반적으로 BAER 측정 실험에서는 4나 6 KHz를 주로 사용하는데³² 본 실험에서는 2, 4, 6KHz 모두를 사용하여 BAER을 측정하였다. 그 결과 6 KHz에서 진폭이 가장 크고 파형구분이 명확하였으며 latency가 가장 짧았고, 역치는 2 KHz에서 가장 높은 것으로 관찰되었다.

Deafness중 불완전deafness의 예로서 외이염견을 실험에 사용하였다.³⁶ 파형의 구분이 정상견에 비하여 불명확하고, 동일한 소리자극일 때 latency와 역치가 정상견에 비해 증가되었다(Fig 3, 4). 소리자극의 크기를 감소시킬수록 latency가 증가함을 관찰할 수 있었다(Fig 4).

역치는 소리자극과 연관성이 없는 파형이 기록되는 시점이며 동물이 더 이상 듣지 못하는 수준의 소리임

을 의미한다. 정상견에 비해 불완전deafness견에서 역치가 증가하는 경향을 보이는데, 그 이유는 불완전deafness인 개가 정상견에 비하여 청력이 저하되어 있는 상태이기 때문이다(Fig 3).

불완전deafness를 나타내는 원인으로는 중이염, 내이염, 고막손상, 소음에 의한 경우가 있다. 중이염이나 내이염은 고막손상이 동반되므로 더욱 심각한 청력손상을 초래한다.^{24,27} 또한 외부 충격에 의한 고막의 물리적 손상도 이와 유사한 결과를 보인다. 고막 파열이 발생한다고 해서 청력이 완전히 소실되는 것이 아니므로 BAER 검사시 외이염견에서와 유사한 파형을 나타낸다.

Flottorp¹⁰는 소음으로 인한 청력손상의 치료에 대하여 연구 보고한 바 있다.

소음에 의한 청력손상은 임상에서 그리 흔치 않으나 환경적 차원에서 중요하게 다룰만한 가치가 있는 것으로 사료되며, 특히 특수견의 경우 일정 수준의 소음에 대하여 어느 정도의 청력손실이 오는지 실험을 통해 알아보는 것도 중요하다고 본다.

완전deafness 유발방법으로서 본 실험에서는 와우 제거술을 이용하였다. 그 밖에 약물을 국소적으로 약 20일 동안 하루 2회씩 투여하여 완전deafness를 일으키는 방법도 있으며, aminoglycosides계 항생제중 gentamicin이 특히 전정와우기관에 독성이 큰 것으로 보고된 바 있다.^{13,34}

Deafness를 일으키는 원인에 관계없이 완전deafness에서는 소리 자극에 대한 BAER의 파형이 일정한 형태가 없이 평평하게 나타나는 것으로 관찰되었다(Fig. 5). 뿐만 아니라 약간의 굴곡이 나타난다고 해도 정상 및 불완전deafness에서처럼 소리자극의 크기가 작아짐에 따라 latency가 증가하는 파형이 아닌 비특이적인 파형이라 할 수 있다. 한 마리의 개를 우측귀의 와우만 제거하였을 때 우측귀의 BAER은 비특이적인 반면, 좌측은 정상으로 나타남을 본 실험을 통하여 알 수 있었다(Fig. 6).

본 실험을 통하여 BAER검사가 개의 deafness 진단에 유용하게 사용될 수 있다는 것을 확인하였다.

결 론

개의 deafness진단을 위한 자료를 얻고자 정상견, 외이염견, 와우제거견에 대한 각각의 BAER을 기록해 본 결과는 다음과 같다.

1. 정상견에 대한 BAER을 기록해 본 바, 파형 I, II, III-IV, V가 가장 큰 소리자극인 85dB에서 가장 명확

하게 구분되었으며, latency는 소리자극의 정도가 작아짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 더 이상 듣지 못하는 수준에서는 비특이적인 파형을 관찰할 수 있었다. 정상견의 평균 역치는 2, 4, 6 KHz에 따라 각각 20~40, 10~20, 10~30 dB로 2 KHz에서 가장 높게 나타났다.

2. 임상적으로 외이염 병력이 있는 푸들의 경우 정상견의 BAER결과에 비해 파형이 다소 명료하지 못하였으며, latency와 역치는 정상견에 비해 증가하는 경향을 보였다.

3. 수술적으로 우측 귀의 와우를 제거한 개에서 우측 귀의 BAER는 파형 I부터 V까지의 파형이 없는 것으로 관찰되었다. 그리고 소리크기의 변화에 따른 규칙성을 관찰할 수 없었으며, 소리의 자극과 무관한 비특이적인 파형을 나타내었다. 한편, 좌측 귀의 BAER은 정상적인 파형을 나타내었다.

이상의 결과로 보아 정상인 개의 BAER 결과를 기준으로 하여, 개의 청력의 이상유무 및 손상의 정도 등을 진단할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Anderson H, Henricson B, Lundquist PG, Wedenberg E and Wersall T. Genetic hearing impairment in the Dalmatian dog. *Acta Otolaryngologica*, 1968; 23: 1-34.
- Bergsma DR and Brown KS. White fur, blue eyes, and deafness in the domestic cat. *Journal of Heredity*, 1971; 62: 171-185.
- Buchwald TS. Far-field acoustic response: Origins in the cat. *Science*, 1975; 189: 382-384.
- Buchwald JS, Hinman C, Norman RJ, Huang CM and Brown KA. Middle- and long-latency auditory evoked responses recorded from the vertex of normal and chronically lesioned cats. *Brain Research*, 1981; 205: 91-109.
- Chiappa KH. Brain-stem auditory evoked potentials : interpretation. In *evoked potentials in clinical medicine*, 2nd ed. New York, Raven Press, 1989: 223-305.
- Coulter DB, Martin CL and Alvarado TP. A cat with white fur and one blue eye. *Calif Vet.*, 1980; 9: 11-14.
- Delack JB. Hereditary deafness in the white cat. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 1984; 6: 609-619.
- Delauche AJ. Brain-stem evoked responses as a diagnostic tool for deafness: A neurophysiological test with potential? *Br. vet. J.*, 1996; 152: 13-15.
- Evans HE and Christensen GC. The ear. In *Miller's Anatomy of the dog*, 2nd ed. W. B. Saunders, Philadelphia, 1979: 1059-1072.
- Flottorp G. Treatment of noise induced hearing loss. *Scandinavian Audiology*, 1990; 34: 123-130.
- Galambos R. Cochlear potentials elicited from bats by supersonic sounds. *Journal of the acoustical Society of America*, 1942; 14: 41-49.
- Goldie WD, Chiappa KH, Young RR and Brooks EB. Brainstem Auditory and short-latency somatosensory evoked responses in brain death. *Neurology*, 1981; 31: 248-256.
- Govaerts PJ, Claes T, Van De Heyning PH, Jorens PG, Marquet J and De Broe ME. Aminoglycoside-induced ototoxicity. *Toxicology Letters*, 1990; 52: 227-251.
- Hayes HM, Wilson GP and Fenner WR. Canine congenital deafness: epidemiologic study of 272 cases. *J Am Anim Hosp Assoc.*, 1981; 17: 473-476.
- Heffner HE. Hearing in large dogs and small dogs: absolutely thresholds and size of the tympanic membrane. *Behav Neurosci.*, 1983; 97: 310-318.
- Holliday TA, Marian E and Te Selle BA. Brain stem auditory-evoked potentials of dogs: Wave forms and effects of recording electrode positions. *Am J Vet Res.*, 1985; 46: 845-851.
- Holliday TA, Nelson HJ, Williams DC and Willits N. Unilateral and Bilateral Brainstem Auditory-Evoked Response Abnormalities in 900 Dalmatian Dogs. *J Vet Int Med*, 1992; 6: 166-174.
- Huang, C. A comparative study of the brain stem auditory response in mammals. *Brain Res.*, 1980; 184: 215-219.
- Jewett, DL and Williston JS. Auditory-evoked far field averaged from the scalp of humans. *Brain*, 1971; 94: 681-696.
- Kay R, palmar AC, Taylor PM. Hearing in the dog as assessed by auditory brain-stem evoked potentials. *Veterinary Record*, 1984; 114: 81-84.
- Knowles K, Cash CW and Blauch BS. Auditory-evoked responses of dogs with different hearing abilities. *Can J Vet Res*, 1988; 52: 394-7.
- Luttgen, PJ. Deafness in the dog and cat. *Vet. clin. North Am.*, Small anim. pract., 1994; 24(5): 981-989.
- Marshall AE, Byars TD and Whitlock RH. Brainstem auditory-evoked response in the diagnosis of inner ear injury in the horse. *J Am Vet Med Assoc.*, 1981; 178: 282-286.
- Mcanulty JF, Hattel A and Harvey CE. Wound Healing and Brain Stem Auditory Evoked Potentials After Experimental Total Ear Canal Ablation with Lateral Tympanic Bulla Osteotomy in Dogs. *Vet Surg*, 1995; 24: 1-8.
- McEntee K, Grauwels M, Clercx C and Henroteaux M. Cloasantal intoxication in a dog. *Vet. Hum. Toxicol.*

- 1995; 37(3): 234-236.
26. Morgan JL, Coulter DB and Marsh AE. Effects of neomycin on the waveform of auditory-evoked brain stem potentials in dogs. *Am J Vet Res.*, 1980; 41: 1077-1081.
 27. Payne JT, Shell LG, Flora RM, Martin RA and Shires PK. Hearing loss in dogs subjected to total ear canal ablation. *Veterinary Surgery*, 1989; 18: 60.
 28. Penrod JP and Coulter DB. The diagnostic uses of impedance audiometry in the dog. *J.A.A.H.A.*, 1980; 16: 941-948.
 29. Pradhan SN and Galambos R. Some effects of anesthetics on the evoked responses in the auditory cortex of cats. *J Pharmacol Exp Ther.*, 1963; 139: 97-106.
 30. Pujol R. and Hilding D. Anatomy and Physiology of the onset of auditory function. *Acta Otolaryngologica*, 1973; 76: 1-10.
 31. Redding RW and Myers LJ. Evoked response. In *Veterinary Neurology*. WB Saunders, Philadelphia, 1987; 3: 168-177.
 32. Sims MH and Moore RE. Auditory-evoked response in the clinically normal dog: early latency components. *Am. J. Vet. Res.*, 1984; 45: 2019-2027.
 33. Sims MH and Moore RE. Auditory-evoked response in the clinically normal dog: middle latency components. *Am. J. Vet. Res.*, 1984; 45: 2028-2033.
 34. Stain GM, Merchant SR, Neer TM and Tedford BL. Ototoxicity assessment of a gentamicin sulfate otic preparation in dogs. *Am J Vet Res.*, 1995; 56: 532-538.
 35. Steinberg SA, Klein E, Killens RL and Uhde TW. Inherited deafness among nervous pointer dogs. *J. Hered.*, 1994; 85(1): 56-59.
 36. Strain GM. Aetiology, prevalence and diagnosis of deafness in dogs and cats. *Br. Vet. J.*, 1996; 152: 17-36.
 37. Strain GM, Green KD, Twedt AC and Tedford BL. Brain stem auditory evoked potentials from bone stimulation in dogs. *Am. J. Vet. Res.*, 1993; 54(11): 1817-1821.