



การศึกษาค่าปกติของผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด
ที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน



อภินันท์นาการ

จาก

เรืออากาศเอกหญิง ดาวเรือง บุญรักษโยธิน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาความผิดปกติของการสื่อความหมาย
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2540

ณพ

๑๔๔๓ก

๒๕๔๐

ISBN 974-589-211-4

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาค่าปกติของผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด
ที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน

นางสาว (ชื่อ)
นางสาว โยชิโนะ

ดาวเรือง บุญรักษา โยชิโนะ
ผู้วิจัย

เจียมจิต ถวิล

เจียมจิต ถวิล วท.บ. (สุขศึกษา), ศศ.ม.
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

ศิริพันธ์ ศรีวันยงค์ ศศ.บ. (ภาษาศาสตร์),
M.S. (Audiology)

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

สุมาลี สิงหนิยม วท.บ. (คณิตศาสตร์),
วท.ม. (ชีวสถิติ)

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

อรรถวิทย์ วิริยเวชกุล

อคุณย์ วิริยเวชกุล ราชบัณฑิต,

พ.บ., น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย

เจียมจิต ถวิล

เจียมจิต ถวิล วท.บ. (สุขศึกษา), ศศ.ม.

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร

ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาความคิดปกติของการสื่อความหมาย

คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาค่าปกติของผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด

ที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาความผิดปกติของการสื่อความหมาย

วันที่ 18 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540

ตามเรื่อง บทคัดย่อ

ดาวเรือง บุญยรัชชโยธิน

ผู้วิจัย

เจียมจิต ถวิล

เจียมจิต ถวิล วท.บ. (สุขศึกษา), ศศ.ม.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ศิริพันธ์ ศรีวันยงค์

ศิริพันธ์ ศรีวันยงค์ ศศ.บ. (ภาษาศาสตร์),

M.S. (Audiology)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

สุมาลี สิงหนิยม

สุมาลี สิงหนิยม วท.บ. (คณิตศาสตร์),

วท.ม. (ชีวสถิติ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อัญชติ โลหะมณีรัตนา

อัญชติ โลหะมณีรัตนา วท.บ.(จิตวิทยา), ศศม.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

อดุลย์ วิริยะเวชกุล

อดุลย์ วิริยะเวชกุล ราชบัณฑิต, พ.บ.,

น.บ., F.R.C.P.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

บุญชอบ พงษ์พาณิชย์

บุญชอบ พงษ์พาณิชย์ พ.บ., F.A.C.C.

คณบดี

คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี

มหาวิทยาลัยมหิดล

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เจียมจิต ถวิล ประชาน-
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุมาลี สิงหนิยม และ อาจารย์
ศิริพันธ์ ศรีวันยงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ อาจารย์ อัญชลี โล่ห์มณีรัตนา ที่
กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาช่วยเหลือตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง
ตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านด้วยความเคารพอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ นายแพทย์ สดมภ์ เพ็ชรพินิจ คุณ ชุตินา โฉววัฒนกุล พยาบาล และ
ผู้ช่วยพยาบาลประจำหอผู้ป่วยเด็กอ่อนโรงพยาบาลรามารบิตี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก
ความสะดวกต่อผู้วิจัยในการเก็บข้อมูล ในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอขอบคุณ รุ่นพี่และเพื่อนนักศึกษา
ปริญญาโท ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ดาวเรือง บุญรักษ์ โยธิน

3736412 RACD/M : สาขาวิชา : โสตสัมผัสวิทยา ; ศศ.ม. (ความผิดปกติของการสื่อความหมาย)
ศัพท์สำคัญ : การทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง / เด็กแรกเกิด

ดาวเรือง บุญรักษโยธิน : การศึกษาค่าปกติของผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิดที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน (A NORMATIVE STUDY OF CHARACTERISTIC OF HEARING IN NORMAL NEWBORNS BY USING THE AUDITORY BRAINSTEM RESPONSE) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : เจียมจิต ถวิล, วท.บ.(สุขศึกษา), ศศ.ม.(ความผิดปกติของการสื่อความหมาย), ศิริพันธ์ ศรีวันรงค์, ศศ.บ.(ภาษาศาสตร์), M.S.(Audiology), สุมาลี สิงหนิยม, วท.บ.(คณิตศาสตร์), วท.ม.(ชีวสถิติ) 87 หน้า. ISBN 974-589-211-4

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาเกณฑ์ของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิดที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน ประชากรในการศึกษาครั้งนี้เป็นเด็กที่คลอดครบกำหนด อายุ 1- 3 วัน เป็นเด็กเพศชายจำนวน 22 คนและเด็กเพศหญิงจำนวน 22 คน และได้รับการตรวจร่างกายจากกุมารแพทย์ ว่ามีสุขภาพสมบูรณ์ ทดสอบการได้ยินโดยใช้เครื่องทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ชื่อ Nicolet รุ่น Compact Auditory Version J.1 โดยใช้เสียงคลิกกระตุ้น ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL อัตราการเกิดเสียงคลิก 11.4 คลิกต่อวินาที จำนวน 2000 คลิก ช่วงความถี่ 150- 3000 Hz Polarity เป็น Rarefaction และจอภาพแสดงค่าระยะเวลา 15 มิลลิวินาที

ผลการศึกษาพบว่า สามารถเห็นลักษณะรูปร่างคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V อย่างชัดเจน ค่าเฉลี่ยของ ABR threshold เท่ากับ 33.85 dBnHL (S.D. = 4.43, 2 S.D. = 8.86 dBnHL) ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL เท่ากับ 6.99, 7.53 และ 8.32 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V และ ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III, III - V และ I - V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลจากการศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นประโยชน์ต่อการประเมินระดับการได้ยินในเด็กแรกเกิด

3736412 RACD/M : MAJOR : AUDIOLOGY ; M.A. (COMMUNICATION DISORDER)

KEY WORD : AUDITORY BRAINSTEM RESPONSE / NEWBORN

DAORUANG BUNYARAKYOTHIN : THE NORMATIVE STUDY OF CHARACTERISTIC OF HEARING IN NORMAL NEWBORNS BY USING THE AUDITORY BRAINSTEM RESPONSE. THESIS ADVISOR : CHEAMCHIT THAWIN, BS., M.A. SIRIPARN SRIWANYONG, B.A., M.S. SUMALEE SINGHANIYOM, B.Sc., M.Sc. 87 p. ISBN 974-589-211-4

The purpose of this research was to study the normative data of characteristic of hearing obtained from newborns who were not in high risk register by using Auditory Brainstem Response (ABR). Twenty - two males and twenty - two females, normal healthy newborns, age 1 - 3 days, served as the subjects for this study. The instrumentation used in this study was NICOLET Compact Auditory Version J.1. The stimuli were clicks presented at the rate of 11.4 per second. The intensity was attenuated at 80, 60 and 40 dBnHL. The filter setting was 150 - 3000 Hz. The polarity was rarefaction. Two thousand sweeps were utilized for each run. The time window was 15 milliseconds.

The results of this study reveal that the morphology of waves I, III and V are clearly identified. The average ABR Threshold is 33.85 dBnHL (S.D.= 4.43, 2 S.D. = 8.86). The mean latencies of wave V at 80, 60 and 40 dBnHL are 6.99, 7.53 and 8.32 milliseconds, respectively, which are significantly different. Also, the results of the mean latencies of waves I, III, V and the mean interpeak latencies of waves I - III, III - V, I - V at 80 dBnHL in male and female subjects are not significantly different. The results of this study can be used to estimate hearing threshold in newborns.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ช-ซ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
3. วิธีดำเนินการศึกษา	45
4. ผลการศึกษา	51
5. อภิปรายผล	64
6. สรุปผลการวิจัย และขอเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก	81
ประวัติผู้เขียน	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยิน ระดับกานสมองในช่วงอายุต่าง ๆ	18
2. แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กทารก จากการศึกษาต่างๆ	20
3. แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ในช่วงอายุต่างๆ	23
4. แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาระหว่างคลื่นในเด็กทารก จากการศึกษาต่างๆ	24
5. แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นและระยะเวลาระหว่างคลื่น ของเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง	33
6. แสดงค่าร้อยละของค่าระดับความต่ำสุดที่เกิดคลื่นที่ V ในเด็กแรกเกิด	54
7. แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการเกิดคลื่น ที่ I, III และ คลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80 , 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด	55
8. แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V, และ I-V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด	56
9. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ที่ I, III และคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและ เด็กเพศหญิง	57
10. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I- V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและ เด็กเพศหญิง	58
11. แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง	59
12. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V	59
13. แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง	60
14. แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดังของ 80, 60 และ 40 dBnHL	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
15. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL	61
16. เปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด	61
17. แสดงค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กแรกเกิดที่ไม่เสี่ยงต่อภาวะสูญเสียการได้ยิน จากการศึกษาต่างๆ	66
18. ข้อมูลดิบแสดง อายุ, อายุครรภ์, น้ำหนัก และค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง(ABR Threshold) ของเด็กเพศชาย	81
19. ข้อมูลดิบแสดง อายุ, อายุครรภ์, น้ำหนัก และค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง(ABR Threshold) ของเด็กเพศหญิง	82
20. ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศชาย	83
21. ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศหญิง	84
22. ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V, I-V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศชาย	85
23. ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V, I-V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศหญิง	86

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1. แสดงรูปร่างของคลื่นในเด็กช่วงอายุต่าง ๆ	13
2. แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากเด็กแรกเกิดอายุครรภ์ 40 สัปดาห์	14
3. แสดงอิทธิพลของเสียงกระตุ้นที่มีผลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่น ความสูงของคลื่น และรูปร่างของคลื่น	35
4. แสดงตำแหน่งของที่วาง Electrode และการต่อสายของ Electrode ที่เชื่อมติดกับ Headbox ของเครื่อง ABR ยี่ห้อ Nicolet	47
5. แสดงวิธีการหาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น และระยะเวลาระหว่างคลื่น	49
6. แสดงการหาตำแหน่งของยอดคลื่น เมื่อยอดคลื่นมีลักษณะประกอบด้วย มากกว่า 1 ยอด	50
7. แสดงลักษณะรูปร่างของคลื่นการได้ยินในเด็กแรกเกิด	52
8. แสดงร้อยละของการปรากฏคลื่นที่ I, III และ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 44 คน	53
9. กราฟแสดง Latency - Intensity Function เมื่อใช้เสียงคลิกที่ ระดับความดัง 80 , 60 และ 40 dBnHL	62

บทที่ 1

บทนำ

การได้ยินเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อพัฒนาการทางภาษา ทั้งทางด้านการรับรู้ภาษา และการแสดงออกทางภาษาหรือการพูด ในระยะปีแรกของชีวิต เด็กสามารถรับรู้เสียงต่าง ๆ รู้ถึงความแตกต่างของเสียงพูด และเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ที่ผ่านเข้ามาโดยการได้ยิน และสร้างสมประกอบการณ์การเรียนรู้เหล่านี้มาเรื่อยๆ ตามอายุที่เพิ่มขึ้นร่วมกับวุฒิภาวะของร่างกาย จนสามารถพัฒนาภาษาในระดับที่สามารถแสดงออกเป็นการพูดได้เมื่อเด็กมีอายุ 10-18 เดือน จนกระทั่งสมบูรณ์คือสามารถพูดได้ชัดเจนและถูกต้องตามหลักไวยากรณ์คล้ายผู้ใหญ่ เมื่อเด็กมีอายุ 8 ปี (1, 2, 3, 4)

การสูญเสียการได้ยิน ที่เกิดขึ้นในระยะที่เด็กกำลังมีพัฒนาการทางภาษาและการพูด คือ ตั้งแต่อายุแรกเกิด - 7 ปี มีผลทำให้เด็กพูดช้า พูดไม่ชัด พูดเสียงผิดเพี้ยน จังหวะการพูดผิดปกติ ซึ่งมีผลกระทบต่อพัฒนาการด้านอารมณ์จิตใจ ด้านสติปัญญา และด้านการศึกษาของเด็กเป็นอย่างมาก เด็กจะมีพัฒนาการทางภาษาและการพูดช้า มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ ความรุนแรงของการสูญเสียการได้ยิน และอายุของเด็กที่เริ่มมีการสูญเสียการได้ยิน (3, 5, 6, 7, 8, 9, 10)

การช่วยเหลือเด็กที่มีประสาทหูเสื่อม สามารถทำได้โดยให้การฟื้นฟูสมรรถภาพทางการได้ยิน เพื่อช่วยให้เด็กได้ใช้การได้ยินที่เหลืออยู่ ให้เกิดประโยชน์ในการรับรู้ภาษาและการพูดได้มากที่สุด การตรวจพบได้เร็ว ทำให้เด็กได้รับการช่วยเหลือเร็วขึ้น และควรทำทันทีที่ตรวจพบว่าเด็กมีการสูญเสียการได้ยิน การให้การฟื้นฟูสมรรถภาพทางการได้ยินกับเด็กตั้งแต่อายุน้อยนั้น จะช่วยทำให้เด็กมีพัฒนาการทางภาษาก้าวหน้าขึ้นใกล้เคียงกับอายุที่แท้จริงของเด็ก แต่ถ้าตรวจพบว่าเด็กมีการสูญเสียการได้ยินเมื่อเด็กมีอายุมากขึ้น ก็จะทำให้เด็กมีพัฒนาการทางภาษา และการพูดล่าช้าออกไป (1, 3, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 15) ดังนั้นการตรวจพบความผิดปกติได้เร็วตั้งแต่อายุยังน้อย จึงมีประโยชน์อย่างมากในการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการได้ยิน และการพัฒนาการทางภาษาและการพูด

ในสหรัฐอเมริกา เริ่มมีการตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิด โดยใช้การทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง (Auditory Brainstem Response หรือ ABR) มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 โดย Downs และ Sterritt ต่อมาในปี ค.ศ.1982 ASHA (The American Speech Language-Hearing Association) ได้สนับสนุน ให้มีการตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิดที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน และควรทำการตรวจก่อนที่จะอนุญาตให้พาลูกกลับบ้าน เพื่อจะได้

สามารถติดตามผล และให้การฟื้นฟูสมรรถภาพทางการได้ยินได้ (13, 15, 16, 17, 18, 19) ในระยะต่อมา James T. Walsh ได้กล่าวรายงานไว้ในการประชุมครั้งที่ 102 ที่ Ohio เมื่อปี ค.ศ.1991 ว่า จำนวนประชากรเด็กเกิดใหม่มีการสูญเสียการได้ยินในระดับหูตึงรุนแรงมีจำนวน 1 : 1000 และมี เด็กเกิดใหม่ที่ไม่มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยินหลายคน มีการสูญเสียการได้ยิน ชนิดต่างๆ รวมอยู่ด้วย จึงทำให้ JCIH (The Joint Committee on Infant Hearing) และ NIC (The Nation Institutes of Health Consensus Statement) เห็นด้วยและสนับสนุนว่า ควรมีการตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิดทุกคน (8, 18, 20) เมื่อปี ค.ศ.1988 Blake และ Hall ได้ทำการสำรวจ ในรัฐต่าง ๆ ที่ ประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 50 รัฐ พบว่ามีการจัดตั้งโปรแกรมการตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิดที่มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน จำนวน 26 รัฐ ปี ค.ศ.1990 Brook ได้ทำการสำรวจโรงพยาบาลที่มีแผนก Neonatal Intensive Care Unit (NICU) จำนวน 553 แห่ง พบว่าโรงพยาบาลที่มีการใช้โปรแกรมการตรวจการได้ยินแบบคัดกรอง มีถึง 81% และใช้การทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองเป็นเครื่องมือสำหรับการตรวจมีถึง 88% (20, 21)

ในประเทศไทยจากรายงานการประชุมปฏิบัติการระดับชาติ เรื่องแนวทางการวางแผนแห่งชาติเพื่อป้องกันหูหนวก พ.ศ.2526 ได้รวบรวมสถิติความผิดปกติทางการได้ยินในผู้ป่วย จากโรงเรียนแพทย์ทั้งสิ้นแห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลรามารชิบัติ ศิริราชพยาบาล โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า ฯ และ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ในช่วงปี พ.ศ.2520 - พ.ศ.2525 พบความผิดปกติทางการได้ยินแบบประสาทหูเสื่อม มีอัตราเฉลี่ย 48.38% และสาเหตุสูงสุด คือ ความผิดปกติทางการได้ยินที่เป็นมาแต่กำเนิด พบอัตราเฉลี่ย 13.10% (22) บรรลุ ศิริพานิช และคณะ (22) ได้ศึกษาระบาดวิทยาของคนพิการและผู้สูงอายุในประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ.2525 พบว่า มีคนเป็นใบ้ 1.33 หูตึง 2.03 และ หูหนวก 0.65 ต่อประชากร 1000 คน และสาเหตุของการหูหนวกที่เป็นมาแต่กำเนิด มีอัตราสูงถึง 50% และจำนวนคนหูหนวกที่ ได้เรียนหนังสือมีเพียง 10.13% จากการประชุมดังกล่าว ได้มุ่งเน้นถึงความสำคัญของปัญหาหูหนวก การบำบัดรักษาการป้องกันและฟื้นฟูสมรรถภาพให้ถูกต้องเหมาะสม สุจิตรา ประสานสุข (22) ได้เสนอแนะว่า เด็กที่เริ่มเข้าโรงเรียนตั้งแต่ปีแรกควรได้รับการตรวจการได้ยิน และยังกล่าวว่าการฟื้นฟูสมรรถภาพอย่างมีประสิทธิภาพ และถูกต้องทันเวลาจะช่วยทำให้เด็กหูหนวกสามารถพูดได้ ต่อมา สุจิตรา ประสานสุข และคณะ (23) ได้ทำการศึกษาภาวะสูญเสียการได้ยินในเด็กที่มารดาสงสัยติดเชื้อหัดเยอรมัน โดยใช้การทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กอายุ 8 เดือน-5 ปี จำนวน 31 ราย จากการศึกษาพบว่ามีเด็กหูหนวกและหูตึงมาก จำนวน 18 ราย หรือ 58.1% ซึ่งส่วนใหญ่มารดามีประวัติออกผื่นระหว่างตั้งครรภ์ช่วง 1-5 เดือน ผู้วิจัยได้รวบรวมสถิติในคลินิก โสตสัมผัสและการพูด-

โรงพยาบาลรามาธิบดี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2532 - 2537 พบว่าผู้ที่มีการสูญเสียการได้ยิน ทั้งเด็กและผู้ใหญ่ ซึ่งจัดเป็นการสูญเสียการได้ยินแต่กำเนิดมีจำนวน 1,121 คน หรือประมาณ 187 คนต่อปี ช่วงอายุที่เริ่มมารับการตรวจการได้ยินมีดังนี้ อายุแรกเกิด -1 เดือน (ทารกแรกเกิด) ยังไม่มีมาตรวจอายุ 1-11 เดือน (วัยทารก) มีจำนวน 0.44% อายุ 1-2 ปี 11 เดือน (วัยเตาะแตะ) มีจำนวน 14.63% อายุ 3-5 ปี 11 เดือน (ก่อนวัยเรียน) มีจำนวน 29.25% อายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (วัยเรียน) มีจำนวน 55.68% จากสถิติดังกล่าวสามารถคาดคะเนได้ว่า กลุ่มคนที่สูญเสียการได้ยินแต่กำเนิด จะได้รับการช่วยเหลือโดยการฟื้นฟูสมรรถภาพทางการได้ยินส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มตั้งแต่วัยเรียนขึ้นไป และพบรองลงมา คือกลุ่มก่อนวัยเรียน

โดยทั่วไปการทดสอบการได้ยินในเด็กเล็ก มีการประเมินผล 2 วิธี คือ

1. การประเมินผลโดยการสังเกตพฤติกรรม การตอบสนองของเด็ก (Behavioral - Observation Audiometry หรือ BOA)
2. การประเมินผลโดยไม่ต้องอาศัยพฤติกรรม การตอบสนองของเด็ก (Physiologic Hearing Tests)

1. การทดสอบการได้ยินโดยประเมินผลจากการสังเกตพฤติกรรม การตอบสนอง

เป็นวิธีที่ทำการทดสอบได้ง่าย และรวดเร็ว โดยทั่วไปมักใช้กับเด็กอายุ 6 เดือน - 3 ปี ซึ่งในแต่ละช่วงอายุ จะมีพฤติกรรม การตอบสนองที่ไม่เหมือนกัน (7, 9, 24, 25) สำหรับพฤติกรรม การตอบสนองของเด็กแรกเกิด ได้แก่ การสะดุ้ง (Startle reflex) และการกระพริบตา (Eyeblink reflex) เด็กแรกเกิดจะตอบสนองต่อเสียง (Noise maker) ที่ดังประมาณ 50-70 dB SPL ถ้ากระตุ้นด้วยเสียงเบากว่านี้ เด็กวัยนี้มักไม่ตอบสนอง วิธีทดสอบแบบนี้จึงไม่เหมาะที่จะใช้กับเด็กแรกเกิด เพราะการสังเกตพฤติกรรมมีความคลาดเคลื่อนได้สูงถึง 40-74% (3, 9, 17, 21, 26) สำหรับ Jacobson ได้ให้ค่าความคลาดเคลื่อนไว้ถึง 90% และวิธีทดสอบแบบนี้ไม่สามารถแปลผลได้ว่ามีการสูญเสียการได้ยินที่หูข้างใด และความสามารถทางการได้ยินอยู่ในระดับใด (9, 15) และพฤติกรรม การตอบสนองของเด็กไม่ได้เกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยเสียงเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ความสามารถในการตอบสนอง ยังขึ้นอยู่กับวุฒิภาวะของร่างกาย และความพร้อมของสมอง (Cerebral function) อีกด้วย (27, 28) และเมื่อทำการกระตุ้นด้วยเสียงซ้ำอีกจะพบว่า เด็กมักไม่ค่อยตอบสนอง เนื่องจากเกิดความเคยชินได้เร็ว (Early habituation) (21)

2. การทดสอบการได้ยินโดยไม่ต้องอาศัยพฤติกรรมการตอบสนอง

เป็นการตรวจโดยใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจการได้ยิน (Electronic-instruments) ซึ่งมีหลายชนิด เช่น Acoustic Immittance Audiometer, Auditory Brainstem Response (ABR), Crib-O-Gram, Auditory Response Cradle และ Otoacoustic Emissions (OAEs) ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงการตรวจโดยใช้ Acoustic Immittance Audiometer และ ABR ทั้งนี้ เนื่องจาก เป็นเครื่องมือที่มีใช้ในคลินิกโสตสัมผัสและการพูด โรงพยาบาลรามารินทร์

2.1 Acoustic Immittance Audiometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมรรถภาพของหูชั้นกลาง การทดสอบประกอบด้วย Tympanometry, Acoustic Reflex Threshold และ Acoustic Reflex Decay การทดสอบที่สามารถนำมาประเมินการได้ยินอย่างคร่าว ๆ ได้แก่ Acoustic Reflex Threshold แต่ไม่เหมาะสำหรับใช้ตรวจการได้ยินในเด็กแรกเกิด เพราะมีข้อจำกัดเนื่องจากในเด็กแรกเกิดบางคนยังไม่มี การตอบสนองของ Acoustic Reflex (20, 24)

2.2 Auditory Brainstem Response (ABR) เป็นเครื่องมือทดสอบการทำงานของประสาทการรับฟังเสียง และระบบประสาทการได้ยินในระดับก้านสมอง การทดสอบและการบันทึกผลปฏิกิริยาการตอบสนองสามารถทำได้โดยใช้ Electrode ติดที่บริเวณหนังศีรษะ และบริเวณกระดูก Mastoid ซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่ทำได้ง่ายสะดวกและไม่เป็นอันตราย ผลที่บันทึกได้มีลักษณะเป็นคลื่น (Waveforms) ในคนปกติเมื่อกระตุ้นด้วยเสียงคลิก (click) จะได้คลื่นทั้งหมด 5-7 คลื่น เกิดขึ้นภายในเวลา 10 มิลลิวินาที (16, 20, 26)

Starr และ Achor (29) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติของ ABR ไว้ดังนี้

1. สามารถทดสอบได้ตั้งแต่แรกเกิด และค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามวุฒิภาวะ (Maturation)
2. ผลปฏิกิริยาการตอบสนอง ไม่ขึ้นอยู่กับระดับความรู้สึก หรือสมาธิของผู้รับการทดสอบ
3. ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น แปรผกผันกับความดังของสัญญาณเสียงที่ใช้กระตุ้น
4. พยาธิสภาพที่เกิดขึ้นในระบบประสาทการได้ยิน มีผลทำให้ปฏิกิริยาการตอบสนองเปลี่ยนไป

ABR เป็นเครื่องมือที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับใช้ทดสอบการได้ยินในเด็กแรกเกิด เพราะเป็นการทดสอบที่ง่าย ผลที่ได้มีความแม่นยำ (13, 15, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35) และยังสามารถนำ ABR มาใช้ประโยชน์ในเด็กกลุ่มต่าง ๆ (29, 31, 35) ดังนี้

1. เด็กแรกคลอดที่ต้องให้การรักษาอยู่ในห้อง NICU (Neonatal Intensive Care Units) เช่น คลอดก่อนกำหนด, ภาวะขาดออกซิเจน, ภาวะมีสารบิลิรูบินในเลือดสูง, ภาวะติดเชื้อ (Sepsis), น้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 1500 กรัม และ มีความผิดปกติของร่างกายแต่กำเนิด
2. เด็กแรกคลอดที่มารดา หรือครอบครัว มีประวัติหูพิการแต่กำเนิด
3. เด็กที่มีความผิดปกติของหูชั้นนอกแต่กำเนิด เพื่อประเมินสภาพการทำงานของ อวัยวะรูปก้นหอย (Cochlea)
4. เด็กโตที่ไม่สามารถทดสอบการได้ยินด้วยวิธีปกติได้ เช่น เด็กปัญญาอ่อน, เด็กออทิสติก และ เด็กที่มีความพิการซ้ำซ้อน

การใช้ ABR สำหรับประเมินจุดเริ่มต้นการได้ยิน (Hearing threshold) ในเด็กเล็กทำได้โดยสังเกตจากคลื่นที่ V เป็นหลัก เนื่องจากเป็นคลื่นที่มีความคงที่สูง และความดังที่ต่ำที่สุดที่ยังคงเห็นคลื่นที่ V ถือเป็นระดับความดังซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นการได้ยิน (23) Schulman-Galambos และ Galambos (13) ได้ศึกษาในเด็กแรกเกิด พบว่าจุดเริ่มต้นการได้ยินเมื่อใช้เสียงคลิกกระตุ้น จะได้ค่าประมาณ 20 dB ซึ่งมีค่าสูงกว่าของผู้ใหญ่ที่มีการได้ยินปกติประมาณ 10 dB ทั้งสองจึงได้เสนอว่า เด็กสายตาดำที่มีปฏิกิริยาตอบสนองให้เห็นที่ระดับความดัง 30 dB อาจถือได้ว่าเด็กรายนั้นมีการได้ยินปกติ และทั้งสองยังได้ศึกษาเด็กใน NICU 75 คน พบว่ามีเด็กที่หูหนวก 4 คน และเมื่อติดตามผลการตรวจเป็นระยะพบว่าเด็กทั้ง 4 คน หูหนวกจริง เขาจึงสนับสนุนว่า ABR เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำ และถ้าเด็กสายตาดำที่มีปฏิกิริยาตอบสนองให้เห็นที่ระดับความดัง 40 dB อาจถือได้ว่าเด็กรายนั้นมีปัญหาทางการได้ยิน ดังนั้น ABR จึงใช้เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิด ในประเทศอเมริกามานานมากกว่า 25 ปี

การนำ ABR มาใช้ทดสอบการได้ยินที่จะให้ได้ผลถูกต้อง และแม่นยำนั้น ในแต่ละคลินิกจะต้องหาค่าปกติ เพราะแต่ละคลินิกมี อุปกรณ์ เครื่องมือ และการกำหนดวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน เช่น เสียงที่ใช้กระตุ้น ที่ครอบหู ช่วงความถี่ (Filter) ตำแหน่งที่ติด Electrode ขนาดของ Electrode cup อายุของผู้รับการทดสอบ และขนาดของกลุ่มตัวอย่าง เป็นต้น (36)

คลินิกโสตสัมผัสและการพูดโรงพยาบาลรามาริบัติ ได้นำ ABR มาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 สำหรับใช้หาตำแหน่งของพยาธิสภาพ และสำหรับประเมินระดับการได้ยินในผู้ป่วยที่ตรวจยาก เช่น ในเด็กเล็กซึ่งยังไม่สามารถทำการตรวจการได้ยินด้วยวิธีทั่วไปได้ และผู้ป่วยที่มี

ปัญหาทางอารมณ์ เป็นต้น แต่ในขณะนี้ยังไม่มีการศึกษาค่าปกติของผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องนี้เพื่อเป็นบรรทัดฐานในการตรวจวินิจฉัยต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างของคลื่นการได้ยิน (Waveform morphology) ในเด็กแรกเกิด
2. เพื่อศึกษาค่าระดับความดังต่ำสุดที่เกิดคลื่นที่ V หรือ ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง (ABR threshold)
3. เพื่อศึกษาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น (Absolute latency) ที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด
4. เพื่อศึกษาค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น (Interpeak latency) ที่ I-III, III-V, I-V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด
5. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง
6. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V, I-V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง
7. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง

สมมติฐานในการศึกษา

1. เด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V แตกต่างกัน
2. เด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL แตกต่างกัน

3. ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V แตกต่างกัน

คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1. เด็กแรกเกิด หมายถึง เด็กที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด มีอายุ 1-3 วัน และเป็นเด็กที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน
2. ระบบการได้ยินส่วนนอก (Peripheral auditory system) เป็นคำที่มีความหมายรวมระหว่างระบบ Conductive system ซึ่งเริ่มตั้งแต่หูชั้นนอกจนถึงหูชั้นกลาง และระบบ Sensorineural system ซึ่งเริ่มตั้งแต่หูชั้นใน และเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (16)
3. ระบบการได้ยินในประสาทส่วนกลาง (Central auditory system) คือส่วนหนึ่งของระบบการได้ยิน ซึ่งมีจุดเริ่มต้นจากระดับก้านสมองบริเวณ Cochlear nucleus ขึ้นไปจนถึง Auditory cortex (16)
4. Synchronization หมายถึง เซลล์ประสาทจำนวนมากมีการทำงานเกิดขึ้นพร้อมกันในเวลาเดียวกัน (16)
5. เสียง “คลิก” (Click) เป็นสัญญาณเสียงที่ อาจมีลักษณะเป็น Rectangular electric pulse หรือมีลักษณะเป็น Diphasic square-wave pulses หรือ Triangular wave ที่ส่งผ่านมายัง Transducer เสียง คลิก ให้พลังงานเสียงในช่วงความถี่ที่กว้าง เป็น Brief tone acoustic stimuli มี onset เร็ว มี rise time, fall time และ duration สั้น (16)
6. Polarity ของเสียงกระตุ้น หมายถึง จุดเริ่มต้นของสัญญาณเสียงที่อาจมีลักษณะเป็น Condensation polarity, Rarefaction polarity หรือ Alternating polarity (16)
 - Condensation polarity จะให้เสียงที่ผ่านเข้าไปในช่องหูมีลักษณะเป็น Positive pressure ซึ่งทำให้แก้วหูเคลื่อนไหวเข้าข้างใน
 - Rarefaction polarity จะให้เสียงที่ผ่านเข้าไปในช่องหูมีลักษณะเป็น Negative pressure ซึ่งทำให้แก้วหูเคลื่อนไหวออกมาทางข้างนอก
 - Alternating polarity เป็นสัญญาณเสียงที่ให้ทั้ง 2 อย่างสลับกัน

7. มิลลิวินาที เป็นหน่วยที่ใช้วัดระยะเวลา 1000 มิลลิวินาที = 1 วินาที (16)

8. เกณฑ์อ้างอิงการวัดเสียง

8.1 dB SPL (dB sound pressure level) หมายถึง การวัดระดับความดันเสียง ที่เปรียบเทียบกับความดันอ้างอิง 0.00002 Pa หรือ 0.0002 dyn/cm² (16)

8.2 dB peSPL (dB Peak-equivalent SPL) เนื่องจาก Sound Level Meter ไม่สามารถวัดเสียงคลิกได้ การวัดระดับความดังเสียงคลิกจึงเปรียบเทียบกับ Peak ของความดันอ้างอิงของ dB SPL ซึ่งเป็น Pure tone stimuli (16) Stuart และคณะ(51) ได้เปรียบเทียบ 0 dBnHL = 37dBpeSPL

8.3 dB HL (dB hearing level) หมายถึง ระดับความดังเสียงที่เปรียบเทียบกับ ความดังที่ความถี่เฉพาะ (Pure tone) ของเครื่องตรวจการได้ยิน(0 dBHL) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของจุดเริ่มต้นการได้ยิน ของคนปกติที่ความถี่ต่างๆ (16)

8.4 dB SL (dB sensation level) หมายถึง ระดับความดังเหนือจุดเริ่มต้นการได้ยินของคนปกติ เป็นหน่วยที่ไม่เป็นมาตรฐานเพราะไม่มีข้อกำหนด ชนิดของเสียงกระตุ้น

8.5 dB nHL (dB normal hearing level) หมายถึง ระดับความดังเสียงที่เปรียบเทียบกับความดังของจุดเริ่มต้นการได้ยินของคนปกติ (0 dBnHL) ระดับความดังต่ำสุดที่ได้ยินเสียงคลิก (ใช้ในการทดสอบ ABR) โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบกับคนที่มีการได้ยินปกติ 10 - 15 คน (16)

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับสำหรับใช้ประเมินการได้ยินในเด็กแรกเกิด สามารถทำได้ง่ายผลที่ได้มีความแม่นยำ เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ และยังใช้สำหรับหาตำแหน่งพยาธิสภาพในระบบการได้ยินด้วย เมื่อใช้เสียงกระตุ้นที่ระดับความดังสูง ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I และคลื่นที่ V สามารถบอกชนิดการสูญเสียการได้ยินได้ว่าเป็นการนำเสียงผิดปกติ (Conductive hearing loss) หรือประสาทหูเสื่อม (Sensorineural hearing loss) ลักษณะรูปร่างของคลื่นและค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น ยังสามารถช่วยวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นในตำแหน่งอวัยวะรูปก้นหอย (Cochlea) หรือหลังอวัยวะรูปก้นหอย (Retrocochlea) ดังนั้นการพิจารณาเพื่อให้ได้ผลอย่างถูกต้อง จึงควรมีการกำหนดเทคนิควิธีการตรวจและค่าปกติ สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบ (5, 16) ในบทนี้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะกล่าวเป็น 6 หัวข้อ ดังนี้

1. พัฒนาการของระบบประสาท
2. ลักษณะรูปร่างของคลื่น (Waveform morphology)
3. ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง (ABR threshold)
4. ระยะเวลาการเกิดคลื่น (Latency)
5. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการตอบสนอง
6. การตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิด

1. พัฒนาการของระบบประสาท

การเจริญของระบบประสาทจะเริ่มขึ้นตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 ของการตั้งครรภ์ เซลล์ประสาทจะแบ่งตัวแพร่ขยายเพิ่มขึ้นในอัตราโดยเฉลี่ย 250,000 ตัวต่อนาทีไปจนถึงไตรมาสที่ 2 ของการตั้งครรภ์ และหลังจากนั้น อัตราการแบ่งตัวของเซลล์ประสาทก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว ในเด็กแรกเกิดเซลล์ประสาททุกตัวที่อยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) จะมีความสมบูรณ์

(Maturation) และสมองของเด็กแรกเกิดมีขนาดประมาณ 25% (350 กรัม) เมื่อเทียบกับสมองของผู้ใหญ่ ขนาดของเซลล์ประสาทและโครงสร้างภายในสมอง โดยเฉพาะใน Neocortex จะเจริญเติบโต และพัฒนาไปจนกระทั่งเด็กมีอายุ 4 ปี (Kostovic และ Rakic 1980, Cowan 1979, Blinkov และ Glazer 1968 อ้างใน 36)

เซลล์ประสาทที่เกิดขึ้นภายในสมอง และที่กระจายไปอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของระบบประสาทส่วนกลาง พบว่าที่ก้านสมอง (Brainstem) มีเซลล์ประสาทเข้าไปอยู่อย่างสมบูรณ์เมื่อเด็กที่อยู่ในครรภ์มีอายุ 8 สัปดาห์ ส่วน Cerebral cortex และโครงสร้างอื่นๆ จะมีเซลล์ประสาทที่ครบสมบูรณ์ หลังจากที่เด็กคลอดแล้วเป็นระยะเวลาหลายเดือน (Chi, Dooling, และ Gilles 1977, Friede 1975 และ Sarnat 1984 อ้างใน 36)

เมื่อเซลล์ประสาทไปอยู่ยังตำแหน่งต่างๆเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เซลล์ประสาทก็จะมีขบวนการเจริญเติบโตต่อไป Axon ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของเซลล์ประสาท ก็จะยื่นออกไปอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้น Dendrite ซึ่งเป็นแขนงของเซลล์ประสาทแต่มีขนาดสั้นกว่า Axon ก็จะเจริญตามอย่างช้า ๆ (Nowakowski 1987 และ Berry 1974 อ้างใน 36) จำนวนของ Dendrite และ Synapse (บริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาทตัวหนึ่ง กับเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง) ก็จะเพิ่มขึ้นตามอายุครรภ์

Synapse ชนิด Axodendritic synapse (มี Pre-synapse เป็น Axon และมี Post-synapse เป็น Dendrite) ที่เป็นชนิดกระตุ้น (Excitatory) จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อเด็กที่อยู่ในครรภ์มีอายุ 24 สัปดาห์ สำหรับ Synapse ชนิด Axosomatic synapse (มี Pre-synapse เป็น Axon และ Post-synapse เป็นตัวเซลล์ประสาท) และ Axodendritic Synapse ที่เป็นชนิดยับยั้ง (Inhibitory) จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อเด็กที่อยู่ในครรภ์มีอายุ 36 สัปดาห์ (Jacobson 1978, Purves และ Lichtman 1985 และ Purpura 1975 อ้างใน 36)

หลังจากที่เซลล์ประสาทได้มีการเพิ่มจำนวน และไปอยู่ตามแหล่งต่าง ๆ ของสมองเรียบร้อยแล้ว Axon ก็จะเริ่มมีปลอก Myelin มาห่อหุ้ม Myelin เกิดขึ้นจากสารไขมันและโปรตีนที่มาสะสมเป็นชั้น ๆ อู้ออบ ๆ Axon Myelin จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อเด็กมีอายุเริ่มเข้าสู่ไตรมาสที่ 2 ของการตั้งครรภ์ และเมื่อเด็กมีอายุ 20 สัปดาห์ บริเวณปลายเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 จะมี Myelin ที่สมบูรณ์ในระดับหนึ่ง (36)

Axon ของเซลล์ประสาท จะมีทั้งชนิดที่มี Myelin หุ้ม และชนิดที่ไม่มี Myelin หุ้ม แต่ชนิดที่มี Myelin หุ้ม จะช่วยให้มีการนำกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (36)

สำหรับสารสื่อประสาท (Neurotransmitters) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำสัญญาณไฟฟ้าจาก Presynaptic membrane ไปยัง Postsynaptic membrane ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าใน

ระบบประสาทส่วนกลาง สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารสื่อประสาท ได้แก่ สารจำพวก Amino Acid และสารอื่น ๆ อีกมากมาย ยังไม่มีใครทราบชัดเจนว่าสารสื่อประสาทเหล่านี้มีขบวนการพัฒนาอย่างไร (36)

เมื่อเซลล์ประสาทมีความสมบูรณ์ จะมีคลื่นไฟฟ้าเกิดขึ้นได้ในสมองและสามารถทำการบันทึกได้ตั้งแต่เด็กที่อยู่ในครรภ์มีอายุ 12 สัปดาห์ และคลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองในสมองส่วนล่าง ได้แก่ Thalamus และก้านสมอง สามารถบันทึกได้ตั้งแต่เด็กที่อยู่ในครรภ์มีอายุเพียง 17 วัน (Williams และ คณะ 1974 อ้างใน 36)

จากการศึกษาเกี่ยวกับ Evoked Potentials (EPs) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางไฟฟ้าของเซลล์ประสาทที่ถูกกระตุ้นจากภายนอก ในเด็กคลอดก่อนกำหนดที่มีอายุไม่เกิน 25 สัปดาห์ พบว่าผลการตอบสนองเกิดขึ้นโดยเห็นเป็น Negative wave และรูปร่างของคลื่นการตอบสนองจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเด็กมีอายุเพิ่มขึ้น (Ellingson 1970, Ohlrich และ Barnet 1972, Barnet และคณะ 1975, Weitzman และ Graziani 1968, Hrbek และ คณะ 1973 อ้างใน 36)

คลื่นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นช่วงแรก ๆ เมื่อได้รับการกระตุ้น (Early response ของ EPs) จะเกิดขึ้นที่บริเวณก้านสมองในช่วงเวลาประมาณ 8 มิลลิวินาที Jewett เรียกการตอบสนองส่วนนี้ว่า คลื่นการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง (Auditory Brainstem Response, ABR) (Jewett 1969, Jewett และ Williston 1971 อ้างใน 36)

คลื่นการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองจะเห็นเป็นลักษณะรูปร่างคลื่นประกอบด้วยคลื่น 5-6 คลื่น โดยบริเวณเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 บริเวณส่วนปลายเป็นจุดกำเนิดของคลื่นที่ I บริเวณเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 ส่วนต้นเป็นจุดกำเนิดของคลื่นที่ II ส่วน Cochlea Nucleus, Superior Olivary Complex, Nuclei ของ Lateral Lemniscus และ Inferior Colliculus จะเป็นจุดกำเนิดของคลื่นที่ III, IV, V และคลื่นที่ VI สำหรับคลื่นที่ III-VI เป็นคลื่นที่มีจุดกำเนิดมากกว่า 1 แห่งในก้านสมอง ซึ่งจะมีการเดินทางของกระแสประสาททั้งช้าและเร็วตามขนาดของใยประสาท (Moller และ Jenetta 1981, Hashimoto และคณะ 1981 อ้างใน 36) ดังนั้น ในการประเมินระบบการได้ยิน จึงมักใช้ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ประเมินการนำสัญญาณเสียงของการได้ยินส่วนนอก (Peripheral Conduction Time) และใช้ระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ประเมินการนำสัญญาณของเซลล์ประสาทการได้ยินส่วนกลาง (Central Conduction Time) (36)

การทำงานของระบบการได้ยินเริ่มต้นขึ้นตั้งแต่เด็กอยู่ในครรภ์ของมารดา ปี ค.ศ. 1974 Bench และ Metz (37) ได้บันทึกการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจ หลังจากให้เสียงกระตุ้นกับเด็กในครรภ์ที่มีอายุตั้งแต่ 20 สัปดาห์ขึ้นไป พบว่าเด็กที่มีอายุ 24 สัปดาห์ จะมีการตอบสนองต่อเสียงอย่างเชื่อถือได้ ปี ค.ศ. 1983 Birholz และ Benacerraf (38) ใช้เสียงกระตุ้นผ่าน

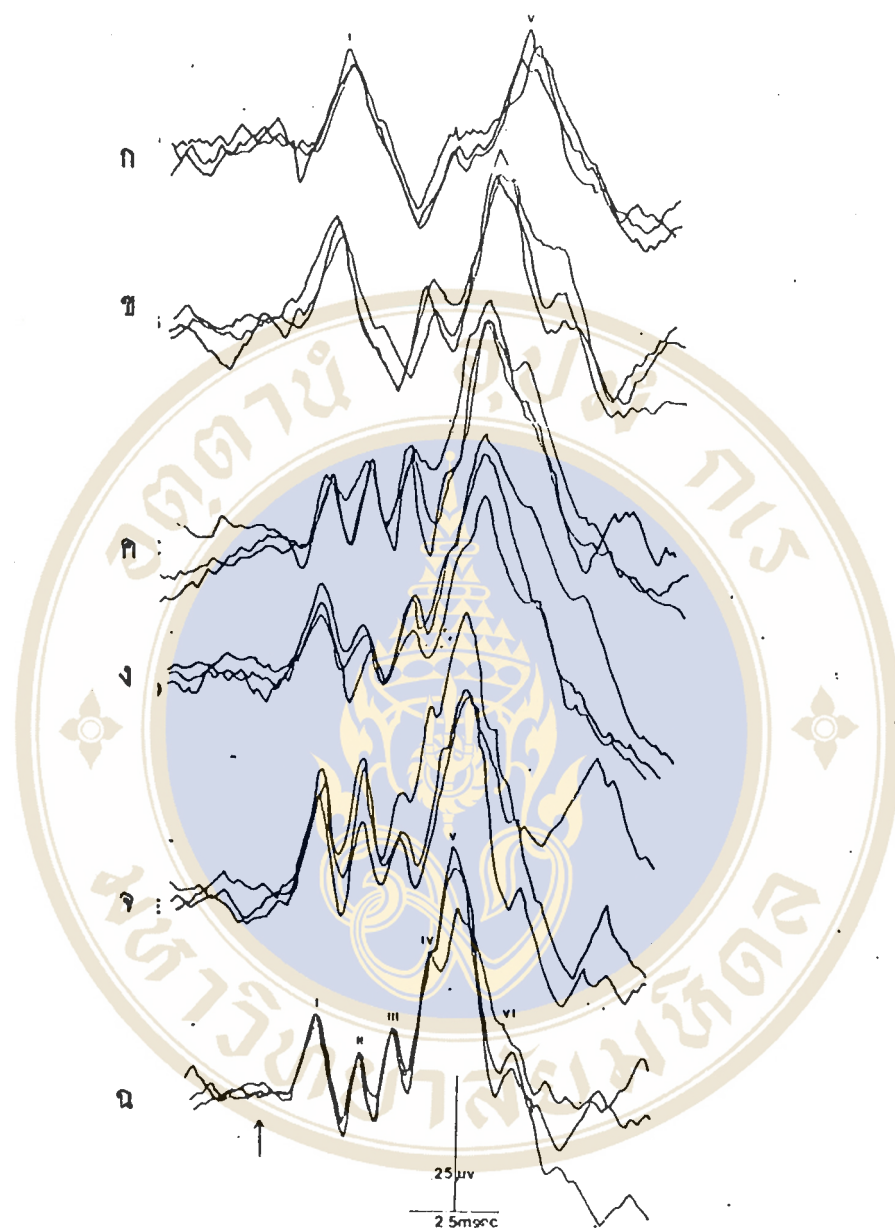
ทางหน้าท้องของมารดาขณะตั้งครรภ์มีอายุ 25-29 สัปดาห์ พบว่าเด็กมีการตอบสนองต่อเสียง โดยการกระพริบตา (จากอัลตราซาวด์) และจากการศึกษาของ Starr และคณะ (39) ได้บันทึกผลการตอบสนองด้วยเครื่องทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดก่อนกำหนด พบว่าสามารถเห็นคลื่นการตอบสนองเป็นครั้งแรก เมื่อเด็กมีอายุครรภ์ 28 สัปดาห์

2. ลักษณะรูปร่างของคลื่น

รูปร่างของคลื่น หมายถึง ลักษณะการตอบสนองที่มองเห็นเป็นคลื่น และกำหนดแต่ละส่วนของคลื่น ได้อย่างชัดเจน ในผู้ใหญ่จะได้คลื่นการตอบสนอง 5-7 คลื่น ในระยะเวลา 10 - 15 มิลลิวินาที การกำหนดชื่อแต่ละคลื่นจะใช้เลขโรมันตาม Jewett และ Williston 1971 (16, 20)

ในเด็กแรกเกิดมักเห็นคลื่นการตอบสนองเพียง 3 คลื่น ได้แก่ คลื่นที่ I, III, V (19, 39, 40) เมื่อเด็กมีอายุ 3 - 4 เดือนจึงสามารถกำหนดคลื่นที่ II และคลื่นที่ IV ได้ และเมื่อเด็กมีอายุประมาณ 1 ปี รูปร่างของคลื่นจึงจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับผู้ใหญ่ (41)

ปี ค.ศ.1975 Salamy และ McKean (42) ศึกษาพัฒนาการของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด-1ปี โดยใช้อัตราการเกิดเสียงคลิก 15 คลิกต่อวินาที ระดับความดัง 55 dB SL จากการศึกษารูปร่างของคลื่น พบว่าเด็กทุกช่วงอายุจะพบคลื่นที่ I และคลื่นที่ V แต่รูปร่างของคลื่นจะเปลี่ยนไปจากแรกเกิดถึงผู้ใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรูปร่างของคลื่นในเด็กช่วงอายุต่าง ๆ (จาก Salamy และ Mckean, 42)

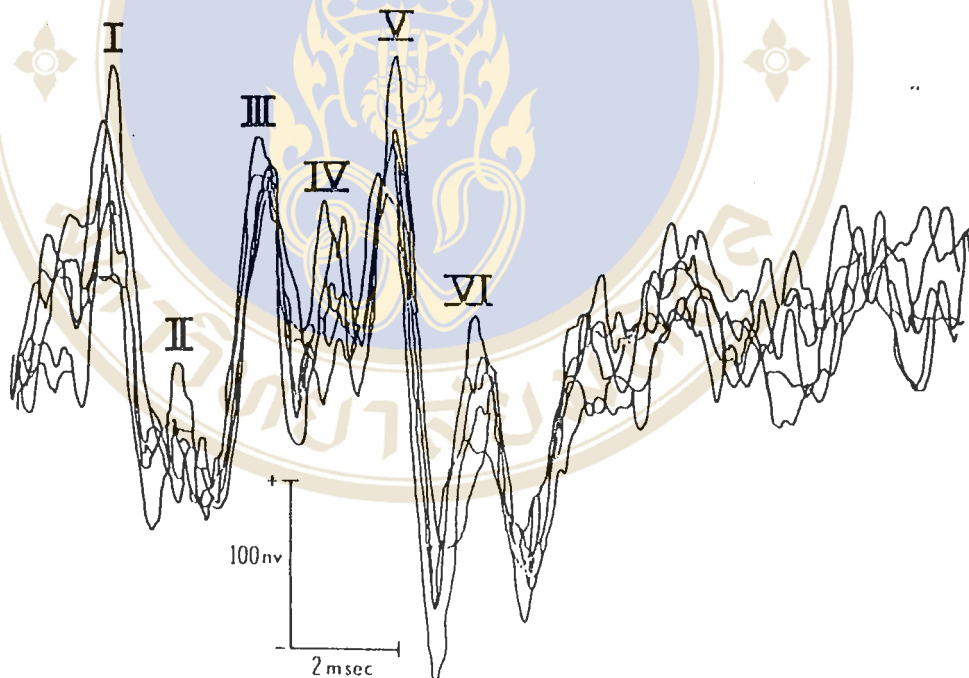
- ก. เด็กแรกเกิด ข. เด็กอายุ 6 สัปดาห์ ค. เด็กอายุ 3 เดือน
 ง. เด็กอายุ 6 เดือน จ. เด็กอายุ 1 ปี ฉ. ผู้ใหญ่

จากรูปที่ 1 ภาพ ก. เด็กแรกเกิดส่วนใหญ่จะพบคลื่นที่ I และคลื่นที่ V และมีรูปร่างคงที่ ภาพ ข. เด็กอายุ 6 สัปดาห์ จะปรากฏคลื่นที่ II และคลื่นที่ III ภาพ ค. เด็กอายุ 3 เดือน จึงปรากฏคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาในเด็ก 1 คน เพื่อดู Intra-Subject Variation โดยทำการทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง พบว่าผลการตอบสนองเปลี่ยนแปลงบ้างเพียงเล็กน้อย และจากการเปรียบเทียบผลการทดสอบในเด็กจำนวน 10 คน เพื่อดู Inter-Subject Variation ผลการตอบสนองที่ได้มีความแตกต่างกันอยู่บ้าง แต่ก็มีความคงที่และเชื่อถือได้

จากการศึกษา พวกเขาสรุปว่า รูปร่างของคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอายุที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งอายุ 1 ปี รูปร่างของคลื่นจึงจะคงที่ และมีลักษณะใกล้เคียงกับผู้ใหญ่

ปี ค.ศ.1977 Starr และคณะ (39) ศึกษาการพัฒนาของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กแรกเกิดที่คลอดก่อนกำหนด และคลอดครบกำหนด ทำการทดสอบในเด็กคลอดครบกำหนดโดยใช้อัตราการเกิดเสียงคลิก 10 คลิกต่อวินาที ที่ระดับความดัง 65 dBSL โดยทำการทดสอบซ้ำ 6 ครั้ง ในช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมง ผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากเด็กแรกเกิดอายุครรภ์ 40 สัปดาห์ ทำการทดสอบซ้ำ 6 ครั้ง ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง จาก Starr และคณะ (39)

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า รูปร่างของคลื่นและความสูงของคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V มีความคงที่ ยกเว้นคลื่นที่ II และคลื่นที่ IV จึงทำให้สามารถกำหนดคาบระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และ IV-V Complex (หรือคลื่นที่ V) ได้ง่าย แต่คลื่นที่ II, VI และคลื่นที่ VII เมื่อทำการ

ทดสอบซ้ำจะให้รูปร่างคลื่นไม่คงที่ จึงทำให้กำหนดระยะเวลาการเกิดคลื่นได้ยาก สำหรับคลื่นที่ IV และคลื่นที่ V มักเกิดรวมอยู่เป็นคลื่นเดียวกัน เรียกว่า "IV-V Complex"

ปี ค.ศ.1979 Goldstein และคณะ (30) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นเด็กที่มีอายุครรภ์ 38-42 สัปดาห์ และกลุ่มที่ 2 เป็นเด็กที่มีอายุครรภ์ต่ำกว่า 36 สัปดาห์ เด็กทุกคนมีสุขภาพสมบูรณ์พร้อมที่จะกลับบ้าน ใช้อัตราการเกิดเสียงคลิก 8-12 คลิ๊กต่อวินาที ระดับความดัง 65 dBSL พบว่าเด็กที่มีอายุครรภ์ 33 สัปดาห์ พบคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V มีจำนวนเท่ากับร้อยละ 85, 90 และ 80 ตามลำดับ เด็กที่มีอายุครรภ์ตั้งแต่ 36 สัปดาห์ขึ้นไป สามารถพบคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V มีจำนวนเท่ากับร้อยละ 100 ของทุกคลื่น สำหรับคลื่นที่ II เด็กที่มีอายุครรภ์ 38-42 สัปดาห์ พบจำนวนร้อยละ 65 และในผู้ใหญ่พบคลื่นที่ II จำนวนร้อยละ 96 พวกเขากล่าวว่า ความเปลี่ยนแปลงของผลการตอบสนองที่เกิดขึ้น มีความสัมพันธ์กับอายุของเด็ก

ปี ค.ศ.1979 Stockard และคณะ (43) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากปัจจัยด้านตัวผู้รับการทดสอบ (Subject Characteristic) และเสียงกระตุ้น (Stimulus Characteristic) ในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ 38-42 สัปดาห์ โดยใช้ระดับความดังที่ต่างกัน อัตราการเกิดเสียงคลิก 10-80 คลิ๊กต่อวินาที ใช้ Rarefaction และ Condensation Polarity ผลการศึกษาพบว่ารูปร่างของคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากวุฒิภาวะของเด็ก (Maturation) และเสียงกระตุ้น

ปี ค.ศ.1982 Zubick และคณะ (44) ศึกษาผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด ที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด โดยใช้อัตราการเกิดเสียงคลิก 30.1 คลิ๊กต่อวินาที ที่ระดับความดัง 65 และ 45 dBHTL พบว่า การปรากฏรูปร่างของคลื่นที่ I, III, V มีความคงที่มากกว่าคลื่นที่ II, IV อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความดัง 65 dBHTL พบการปรากฏรูปร่างของคลื่นที่ I, III, V มากกว่าที่ระดับความดัง 45 dBHTL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความดัง 65 dBHTL พบจำนวนคลื่นที่ V มากที่สุด และพบจำนวนคลื่นที่ III มากกว่าคลื่นที่ I

ปี ค.ศ.1982 Jacobson และคณะ (40) ศึกษาวิธีการประเมินผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนด ที่มีอายุ (นับรวมกับอายุครรภ์) 40-49 สัปดาห์ โดยใช้เสียงคลิกความดัง 60 dBnHL อัตราการเกิดเสียงคลิก 10.4 คลิ๊กต่อวินาที จำนวน 2,000 คลิ๊ก พบว่าในเด็กแรกเกิดสามารถเห็นคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ได้อย่างชัดเจน เมื่อเด็กมีอายุ 3 เดือนจึงเห็นคลื่นที่ II และเมื่อเด็กมีอายุ 4 เดือน จึงเห็นคลื่นที่ IV พวกเขากล่าวว่า เมื่อเด็กมีอายุเพิ่มขึ้นรูปร่างคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีการปรากฏของคลื่นเพิ่มขึ้น และมีความชัดเจนมากขึ้น

ปี ค.ศ.1987 Hyde และคณะ (46) ศึกษาค่าปกติของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง เพื่อเป็นบรรทัดฐานสำหรับเด็กที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยินในเด็กอายุ 4 เดือน จากการศึกษารูปร่างของคลื่นที่ระดับความดัง 30 dBnHL โดยให้เสียงคลิก พบว่ายังคงเห็นคลื่นที่ I, III อย่างชัดเจน คลื่นที่ II และ IV ไม่ค่อยพบ และพบคลื่นที่ V (ทั้ง 2 หู) เป็นจำนวนร้อยละ 93 และที่ระดับความดัง 40 dB พบคลื่นที่ V (ทั้ง 2 หู) เป็นจำนวนร้อยละ 97

3. ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง

ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง เป็นการประเมินระดับการได้ยิน โดยการพิจารณาระดับความดังต่ำสุดที่เกิดคลื่นที่ V (21, 47, 48) ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง นำมาใช้ประเมินการได้ยินในเด็กแรกเกิดและกลุ่มผู้ป่วยอื่นๆ เช่น เด็กปัญญาอ่อนรุนแรง, ผู้ป่วยที่บาดเจ็บทางสมอง เป็นต้น (21)

ปี ค.ศ.1979 Schulman-Galambos และ Galambos (13) ศึกษาการตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด (38-42 สัปดาห์) อายุตั้งแต่แรกเกิดถึง 3 วัน โดยให้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 30 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 150-1500 Hz พบว่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองอยู่ในระดับ 10-20 dBHL ซึ่งให้ค่าสูงกว่าผู้ใหญ่ประมาณ 10 dBHL

ปี ค.ศ.1980 Kaga และ Tanaka (27) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยิน โดยใช้เครื่องทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง และทดสอบการได้ยินโดยประเมินผลจากพฤติกรรมตอบสนอง (Behavioral Audiometry) ในเด็กอายุ 1-18 เดือน เด็กอายุ 2-5 ปี และผู้ใหญ่อายุ 18-22 ปี สำหรับผลการได้ยินระดับก้านสมอง ทำการทดสอบโดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 10 คลิกต่อวินาที พบว่าค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อเสียงในเด็กมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32 dBHL และในผู้ใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 dBHL จะเห็นว่าค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียง มีค่าลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น และเมื่อเด็กมีอายุ 2-3 ปี จึงจะมีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงใกล้เคียงกับผู้ใหญ่ และการที่ความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อเสียงมีค่าลดลง อาจเป็นเพราะ Myelin เจริญเติบโตมากขึ้น เป็นผลให้แรงกระตุ้นมาถึงแหล่งกำเนิดคลื่นที่ V ได้ในปริมาณมากขึ้น

ปี ค.ศ.1983 Stockard และคณะ (49) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนดอายุ 1-3 วัน มีสุขภาพสมบูรณ์ และ

เด็กคลอดก่อนกำหนดที่มีอายุ (นับรวมกับอายุครรภ์) 28-42 สัปดาห์ มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน ใช้เสียงคลิกกระตุ้น อัตราการเกิดเสียงคลิก 5, 10, 30 และ 80 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 100-3000 Hz พบว่าเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด และเด็กที่มีอายุครรภ์ 32 สัปดาห์ มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงเท่ากับ 70-75 dBpeSPL และ 75 dBpeSPL เด็กที่มีภาวะการนำเสียงผิดปกติ มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงเท่ากับ 95 dBpeSPL และเด็กที่มีประสาทหูเสื่อม ไม่พบการตอบสนองต่อเสียง

ปี ค.ศ.1983 Yamada และคณะ (5) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนด ที่มีอายุ 5 วัน พบว่า เด็กแรกเกิดมีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงเท่ากับ 10-20 dBHTL ซึ่งมีค่าสูงกว่าผู้ใหญ่เล็กน้อย (5-10 dBHTL)

ปี ค.ศ.1985 Lary และคณะ (32) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กคลอดครบกำหนด และเด็กคลอดก่อนกำหนดที่มีอายุ (นับรวมกับอายุครรภ์) 27-42 สัปดาห์ โดยใช้เสียงคลิก อัตราเกิดเสียงคลิก 10 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 300-3000 Hz พบว่าเด็กอายุ 28-34 สัปดาห์, 35-38 สัปดาห์ และเด็กที่อายุครรภ์ครบกำหนดมีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงเท่ากับ 40, ต่ำกว่า 30 และ 20 dBHL ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเด็กมีอายุเพิ่มขึ้น ความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงจะมีค่าไวขึ้น และยังสามารถศึกษาเกี่ยวกับระดับเสียงรบกวน (Ambient noise) ภายในห้องตรวจ จากการทดสอบภายในห้อง NICU หรือตึกผู้ป่วยหลังคลอด ในขณะที่เด็กอยู่ใน Incubator (ระดับเสียง 50-54 dB SPL) และนอก Incubator (ระดับเสียง 58 - 62 dB SPL) พบว่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่า เด็กที่คลอดมาแล้วหรืออยู่ในครรภ์มารดา มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียง ไม่แตกต่างกัน

ปี ค.ศ.1987 Hyde และคณะ (46) ศึกษาค่าปกติของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง เพื่อเป็นบรรทัดฐานสำหรับเด็กที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน ในเด็กอายุ 4 เดือน โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 35 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 150-3000 Hz Alternating polarity พบว่า เด็กส่วนใหญ่มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 30 dBnHL มีจำนวน 93% และเด็กอีกจำนวน 7% ไม่สามารถอ่านค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงได้ เนื่องจากเด็กอยู่นิ่ง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงกับผู้ใหญ่พบว่า ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงในเด็ก จะมีค่าสูงกว่าผู้ใหญ่เล็กน้อย

ปี ค.ศ.1990 Adelman และคณะ (50) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง และระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ 37-42

สัปดาห์ อายุ 1 ชั่วโมง - 5 เดือน โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 10-20 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 200 - 2000 Hz ที่ครอบหู TDH-39 ผลการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ในช่วงอายุต่างๆ

อายุเด็ก (ชั่วโมง)	ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียง (dBnHL)
0 - 5	35.7
24 - 30	25.5
48 - 72 (2 - 3 วัน)	20.8
144 - 168 (6 - 7 วัน)	21.1
264 - 420 (11-17 วัน)	12.5
ผู้ใหญ่	7

จากการศึกษาพบว่า ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงในเด็กอายุ 0 - 5 ชั่วโมง มีค่าสูงกว่าในผู้ใหญ่ 29 dB และมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ยาวกว่าผู้ใหญ่ สาเหตุอาจมาจากดังต่อไปนี้

- กลไกการนำเสียงในหูชั้นกลางมีสมรรถภาพลดลงจากการที่มี Residual embryonic fluid ในหูชั้นกลางของเด็กแรกเกิด
- Basal part of basilar membrane ในอวัยวะรูปก้นหอย ของเด็กยังเจริญไม่สมบูรณ์ (Immature) เท่ากับของผู้ใหญ่ (Rubel และ Ryals 1983)
- Outer hair cell และ Auditory nerve fiber ในผู้ใหญ่มีภาวะสมบูรณ์กว่าของเด็ก (Dolan และ คณะ 1985)
- ในผู้ใหญ่หรือเด็กโต Auditory pathway มีภาวะสมบูรณ์ขึ้น เมื่อมีการกระตุ้น จึงเกิดกระแสประสาทได้มาก (Firing synchrony of axon)(Starr และคณะ39)

ปี ค.ศ.1993 Stuart และคณะ(51) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กอายุครรภ์ครบกำหนด อายุ 48-72 ชั่วโมง และผู้ใหญ่โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 57.7 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 30-3000 Hz ทำการทดสอบใน

ห้องเงียบ ที่มีระดับเสียงรบกวน 44 dBA พบว่าเด็กแรกเกิดที่มีอายุมากกว่า 48 ชั่วโมง และผู้ใหญ่ มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงโดยเฉลี่ยเท่ากับคือ 3.75 dBnHL ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ พวกเขาบอกว่า ผลการศึกษาในครั้งนี้ได้ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อ เสียงที่ต่ำกว่าการศึกษาอื่น ๆ ประมาณ 10-15 dBnHL สาเหตุอาจเกิดจากการใช้เกณฑ์อ้างอิงของ การวัดเสียงของ Stimuli transducer ที่แตกต่างกัน และการกำหนดช่วงความถี่ของเสียงกระตุ้นที่ แตกต่างกัน

ปี ค.ศ.1994 Galambos และ Wilson (52) ศึกษาเปรียบเทียบค่าความไวของหูที่ตอบ สอนต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองที่ได้จากการใช้หูฟังชนิดที่ครอบหูกับชนิดที่สอด เข้าในช่องหู (Insert phone) ในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด พบว่า จากการใช้ที่ครอบหู ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงอยู่ในช่วง 5-50 dBnHL และจากการใช้ชนิดสอดเข้าในช่องหู ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงอยู่ในช่วง 0-10 dBnHL Galambos และ Wilson กล่าวว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- แปลผลการตรวจผิดพลาด
- ครอบหูไม่สนิททำให้มีเสียงอื่นแทรกเข้าไป และทำให้ความเข้มของเสียงกระตุ้น นั้นลดลง
- เนื่องจากช่องหูชั้นนอกเกิดตีบตันจากการใช้ชนิดที่ครอบหู จึงทำให้การนำเสียง ผิดปกติ (Artificial conductive hearing loss)

สาเหตุดังกล่าว ทำให้ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อเสียงสูงขึ้น แต่จะไม่เกิน 10 dBnHL พวกเขาบอกว่ายังไม่มีสมมติฐานใดที่สามารถอธิบายได้ถูกต้อง แต่ก็เชื่อว่า ส่วนใหญ่ อาจเกิดจากการใช้หูฟังชนิดที่ครอบหู แล้วทำให้ช่องหูชั้นนอกเกิดตีบตัน

ปี ค.ศ.1994 Stuart และคณะ (53) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบ การได้ยินระดับก้านสมองในเด็กอายุครรภ์ครบกำหนด อายุแรกเกิด-96 ชั่วโมง โดยใช้หูฟัง ชนิดที่สอดเข้าในช่องหูโดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 57.7 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 30-3000 Hz ทำการทดสอบในห้องเงียบที่มีระดับเสียงรบกวน 44 dBA พบว่าค่าความไวของหูที่ ตอบสนองต่อเสียงในเด็กอายุ 0-48 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.5 dBnHL เด็กอายุ 49-96 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8 dBnHL จากการที่เด็กอายุ 0-48 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยความไวของหูที่ตอบสนอง ต่อเสียงที่สูงกว่าเด็กอายุ 49-96 ชั่วโมงอาจเกิดจาก มีน้ำคั่งอยู่ในช่องหูชั้นกลาง และเด็กที่มี อายุมากกว่า 48 ชั่วโมง มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงลดลง เนื่องจากระหว่างที่เด็ก ดูดนมความดันอากาศในปากจะเป็น Negative pressure ซึ่งเป็นการช่วยดูดน้ำออกจากช่องหู ชั้นกลาง โดยผ่านทางท่อยูสเตเชียนด้วย

4. ระยะเวลาการเกิดคลื่น (Latency)

หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้สัญญาณเสียง ไปจนกระทั่งเกิดการตอบสนองของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 และก้านสมอง มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที ผลที่บันทึกออกมามีลักษณะเป็นคลื่นเรียกว่า คลื่นการได้ยิน (waveform) ซึ่งในคนปกติเมื่อกระตุ้นด้วยเสียงที่ระดับความดัง 70 dB คลื่นการได้ยินจะเกิดขึ้นภายในเวลา 5-6 มิลลิวินาที (16) การกำหนดค่าระยะเวลาการเกิดแต่ละคลื่น เรียกว่า Absolute latency และความสัมพันธ์ระหว่างคลื่น 2 คลื่น เรียกว่า ระยะเวลาระหว่างคลื่น (Interpeak latency, IPL หรือ Interwave interval, IWI) (45)

4.1 ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น (Absolute Latency) ในผู้ใหญ่ที่มีการได้ยินปกติ หลังจากกระตุ้นด้วยเสียงคลิกที่ระดับความดัง 70 dB ประมาณ 1.5 มิลลิวินาที จะเกิดคลื่นที่ I และที่เวลา 2.5, 3.5 และ 5.5 มิลลิวินาที จะเกิดคลื่นที่ II, III และคลื่นที่ V ตามลำดับ (16) Yamada และคณะ 1983 (5) กล่าวว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น I และคลื่นที่ V สามารถบอกประเภทการสูญเสียการได้ยินได้ว่าเป็น ชนิดการนำเสียงผิดปกติ (Conductive hearing loss) หรือ ประสาทหูเสื่อม (Sensorineural hearing loss) ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กแรกเกิดมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นบ่อยมากเนื่องจากอายุ ระดับความดังของเสียงกระตุ้น และพัฒนาการของระบบการได้ยินยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ เด็กอายุครรภ์ครบกำหนดที่มีสุขภาพสมบูรณ์ มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I และคลื่นที่ V ประมาณ 2.0 และ 7.0 มิลลิวินาทีเมื่อใช้เสียงคลิกกระตุ้นที่ระดับความดัง 60 dBnHL (45)

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กทารก จากการศึกษิต่างๆ

ผู้ศึกษา	ความดัง	อัตราเกิด เสียงคลิก / วินาที	ช่วงความถี่ (Hz)	อายุครรภ์ (สัปดาห์)	ระยะเวลาการเกิดคลื่น (มิลลิวินาที)		
					I	III	V
Salamy และ Mc kean (42)	55 dBSL	15	-	ครบกำหนด	2.12	4.89	7.06
Schulman- และGalambos (54)	65 dBSL	33..3	100-3000	38 - 39 40 - 42	-	-	7.87 7.30
Starr และคณะ (39)	65 dBSL	10.0	-	40	1.70	-	6.90
Stockard และคณะ (43)	70 dBHL	10.0	100-3000	38 - 42	1.81	4.62	6.72

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กทารก จากการศึกษาดังต่อไปนี้ (ต่อ)

ผู้ศึกษา	ความดัง	อัตราการเกิดเสียงคลิก / วินาที	ช่วงความถี่ (Hz)	อายุครรภ์ (สัปดาห์)	ระยะเวลาการเกิดคลื่น (มิลลิวินาที)		
					I	III	V
Goldstein และคณะ (30)	65 dBSL	8-12	100-3000	38 - 42	1.64	4.43	6.74
Gafni และคณะ (55)	75 dBHL	10-20	250-5000	37 - 42	1.65	-	-
Cox และคณะ (56)	60 dBnHL	33.0	150-1500	37 - 38	3.17	-	7.79
Weber (57)	dBnHL			39 - 40	2.95	-	7.65
	75 dBnHL	38.0	150-3000	38 - 39	-	4.69	7.52
	dBnHL			40 - 41	-	4.49	7.17
	60 dBnHL			38 - 39	-	5.27	8.00
Rubinstein และ Sohmer (58)	75 dBnHL	20.0	200-2200	38 - 41	1.77*	-	-
	dBnHL						
Jacobson และคณะ (40)	60 dBnHL	10.4	150-3000	40 - 41	2.23	4.84	7.16
Zubick และคณะ(44)	65 dBHL	30.1	-	ครบกำหนด	2.20	5.06	7.24
Stockard และคณะ(49)	110 dBpeSPL	10.0	100-3000	40	-2.26	-5.07	-7.25
Durieux-Smith และคณะ (59)	70 dBnHL	11.0	250-3000	38 - 42	-	-	6.89
Zimmerman และคณะ (60)	75 dBnHL	-	150-1500	39 - 41	-	-	7.24
Morgan และคณะ (34)	75 dBnHL	11.1	150-1500	39 - 40	2.03	4.74	6.91
Gorga และคณะ (61)	80 dBnHL	13.0	100-3000	37 - 38	1.741	-	6.939
	dBnHL			39 - 40	1.718	-	6.816
	dBnHL			41 - 42	1.690	-	6.687
Eggermont และ Salamy (62)	60 dBnHL	15.0	100-3000	40	2.00	-	7.14
Adelman และคณะ (50)	80 dBnHL	10-21	200-2000	37 - 42	1.60**	-	-
	dBnHL				1.48***	-	-

หมายเหตุ * เด็กอายุ 7-8 ชั่วโมง, ** เด็กอายุ 24-30 ชั่วโมง, *** เด็กอายุ 48-72 ชั่วโมง

ปี ค.ศ.1980 Gafni และคณะ (55) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กคลอดครบกำหนดอายุ 12 วัน และติดตามผลการศึกษาอีก เมื่อเด็กมีอายุ 3 เดือนโดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 10 - 20 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 250-5000 Hz ที่ระดับความดัง 75 dBnHL พบว่าเด็กทั้ง 2 ช่วงอายุ มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นไม่แตกต่างกัน (เด็กอายุ 12 วัน, เด็กอายุ 3 เดือน มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I เท่ากับ $1.65 \pm 0.19, 1.56 \pm 0.21$ มิลลิวินาที ตามลำดับ)

ปี ค.ศ.1981 Cox และคณะ (56) ศึกษาค่าปกติของผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กคลอดก่อนกำหนดอายุครรภ์ 27-36 สัปดาห์ มีอายุ (นับอายุครรภ์ร่วมกับอายุหลังคลอด) ขณะทำการทดสอบ 33-40 สัปดาห์ โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 33 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 150-5000 Hz ที่ระดับความดัง 60 dBnHL พบว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น แต่ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามอายุ และพบว่า มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นมากกว่าการศึกษาของ Starr และคณะ (39) เนื่องจากใช้ระดับความดังของเสียงกระตุ้นที่ต่างกัน

ปี ค.ศ.1987 Zimmerman และคณะ (60) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด จากการศึกษาปัจจัยด้านเพศ, หู (ซ้าย,ขวา), อายุครรภ์ของเด็ก และอัตราการเกิดเสียงคลิก พบว่าในเด็กแรกเกิดที่มีอายุเท่ากัน อัตราการเกิดเสียงคลิกเท่านั้นที่เป็นปัจจัยมีผลต่อค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นโดยเฉพาะคลื่นที่ V และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น

ปี ค.ศ.1987 Gorga และคณะ (61) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กแรกเกิดที่รักษาตัวในห้อง NICU โดยใช้เสียงคลิก ที่ระดับความดัง 20-80 dBnHL ช่วงความถี่ 100-3000 Hz พบว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I และคลื่นที่ V มีค่าลดลงเมื่ออายุและระดับความดังเพิ่มขึ้นและมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นสั้นกว่าการศึกษาของคนอื่น ๆ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการศึกษาของพวกเขาทำในห้องเก็บเสียง(Sound Treat Booth) ในขณะที่การศึกษาของคนอื่นๆ ทำในห้อง NICU ซึ่งมีเสียงรบกวนมากกว่า ถึงแม้ว่าจะมีหลายการศึกษาที่กล่าวไว้ว่า เมื่อใช้เสียงกระตุ้นที่ระดับความดังสูงเสียงรบกวนจะไม่มีผลต่อค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นก็ตาม

ปี ค.ศ.1988 Eggermont และ Salamy (62) กล่าวว่าภาวะการนำเสียงผิดปกติและประสาทหูเสื่อม ทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นทุกคลื่นยาวขึ้น และถ้ามีพยาธิสภาพเกิดขึ้นที่ Acoustic nerve และ Brainstem pathway ก็จะทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่มีจุดกำเนิดจากแหล่งนั้น ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ.1990 Adelman และคณะ (50) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงและค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กตลอดครบกำหนดโดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 10-20 คลิ๊กต่อวินาที ช่วงความถี่ 200-2000 Hz ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ในช่วงอายุต่างๆ

อายุ (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I (มิลลิวินาที)
0 - 5	1.81
24 - 30	1.60
48 - 72 (2 - 3 วัน)	1.48
144 - 168 (6 - 7 วัน)	1.47
264 - 420 (11-17 วัน)	1.39
ผู้ใหญ่	1.33

ผลการศึกษาพบว่าเด็กอายุ 14 วัน มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ใกล้เคียงกับผู้ใหญ่ และเด็กอายุ 0-5 ชั่วโมง มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I มากกว่าผู้ใหญ่ 0.48 มิลลิวินาที

4.2 ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น (Interpeak Latency หรือ IPL) เป็นค่าระยะเวลาจากจุดยอดของคลื่นหนึ่งไปยังจุดยอดของอีกคลื่นหนึ่ง ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น เป็นค่าที่ค่อนข้างให้ความคงที่ และไวต่อความผิดปกติเมื่อมีพยาธิสภาพเกิดขึ้นที่ระบบประสาทส่วนกลางมากกว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น เนื่องจากค่านี้แสดงถึงระยะเวลาการนำสัญญาณของเซลล์ประสาท (Neural Conduction Time) โดยที่ระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III แสดงถึงการนำสัญญาณของเซลล์ประสาทในช่วงก้านสมองส่วนล่าง (Lower Brainstem) หรือบริเวณ Cochlea และ Lower pons และระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ III-V แสดงถึงการนำสัญญาณของเซลล์ประสาทในช่วงก้านสมองส่วนบน (Upper Brainstem) หรือบริเวณ Lower pons และ Midbrain ดังนั้น ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V จึงเป็นการแสดงถึงการนำสัญญาณของระบบประสาทการได้ยินส่วนกลาง (Central conduction time) ฉะนั้น การที่ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้น จึงมีประโยชน์ในการช่วยวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบประสาทส่วนนอกและระบบประสาทส่วนกลางได้ (16) Copyright by Mahidol University

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาห้วงคลื่นในเด็กทารก จากการศึกษาดังต่อไปนี้

ผู้ศึกษา	ความดัง	อัตราการเกิดเสียงคลิก / วินาที	ช่วงความถี่ (Hz)	อายุครรภ์ (สัปดาห์)	ระยะเวลาห้วงคลื่น (มิลลิวินาที)		
					I -III	III-V	I - V
Stockard และคณะ (43)	70 dBHL	10.0	100-3000	38 - 42	2.8	2.13	4.92
Goldstein และคณะ (30)	65 dBSL	8-12	100-3000	37 - 38 - 42	2.81	2.60	5.41
Cox และคณะ (56)	60 dBnHL	33.0	150-1500	37 - 38 - 39 - 40	-	-	4.57
Weber (57)	60 dBnHL	38.0	150-3000	38 - 39 - 40 - 41	2.61	-	5.35
Jacobson และคณะ (40)	60 dBnHL	10.4	150-3000	40 - 41	2.62	2.32	4.94
Fawer และ Dubowitz(63)	80 dBnHL	10.0	250-1600	37 - 38 - 39 - 40 - 41	-	-	5.01
				37	-	-	4.99
				38	-	-	4.98
				39	-	-	4.98
				40	-	-	4.87
				41	-	-	4.87
	60 dBnHL			37	-	-	4.85
				38	-	-	4.87
				39	-	-	4.90
Stockard และคณะ (49)	110 dBpeSPL	10.0	100-3000	40	-	-	4.90
Zimmerman และคณะ (60)	75 dBnHL	-	150-1500	39 - 41	2.70	2.12	4.82
Morgan และคณะ (34)	75 dBnHL	11.1	150-1500	39 - 40	2.71	2.17	4.88
Gorga และคณะ (61)	80 dBnHL	13.0	100-3000	37 - 38 - 39 - 40 - 41 - 42	2.803	2.345	5.171
				37 - 38	2.704	2.379	5.090
				39 - 40	2.744	2.242	4.996
Eggermont และ Salamy (62)	60 dBnHL	15	100-3000	40	-	-	5.14
Adelman และคณะ (50)	80 dBnHL	10-21	200-2000	37 - 42	-	-	5.02*
					-	-	5.20**

หมายเหตุ * เด็กอายุ 24 -30 ชั่วโมง, **เด็กอายุ 48 -72 ชั่วโมง

ในคนที่มีการได้ยินปกติโดยทั่วไป เมื่อใช้เสียงคลิก ความดังประมาณ 60-70 dBSL ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III และ III-V มีค่าประมาณ 2 มิลลิวินาที และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V มีค่าประมาณ 4 มิลลิวินาที Schwartz และ Berry 1985 (อ้างใน 16) กล่าวว่า ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นของห้องทดลองต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน จึงถือได้ว่าค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นมีความคงที่สูง สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบเป็นค่ามาตรฐานได้ ซึ่งต่างกับค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ที่มีมักจะพบว่า ค่าที่ได้จากการศึกษาของแต่ละห้องทดลอง จะให้ค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการทดสอบ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ (16)

ปี ค.ศ.1979 Stockard และคณะ (43) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากปัจจัยด้านตัวผู้รับการทดสอบ (Subject characteristic) และเสียงกระตุ้น (Stimulus characteristic) พบว่าระยะเวลาระหว่างคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความดัง ซึ่งเกิดจากการลดระดับความดังมีผลทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I และคลื่นที่ V มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I มีอัตราการเพิ่มมากกว่าคลื่นที่ V ซึ่ง Don 1978 (อ้างใน 20) ได้กล่าวไว้ว่า การที่ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I เพิ่มขึ้นเป็นเพราะว่า การลดระดับความดังของเสียง ทำให้ระยะเวลาการเดินทางของเสียงไปยังอวัยวะรูปก้นหอย(Cochlea) ใช้เวลานานขึ้น และจากการศึกษาพบว่า ความดัง, Polarity, อัตราการเกิดเสียงคลิก และอายุ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาระหว่างคลื่น และได้เสนอว่าแต่ละคลินิก ควรหาค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น ไว้เพื่อเป็นบรรทัดฐานของข้อมูล เพื่อใช้เปรียบเทียบ เมื่อมีการตรวจวินิจฉัย

ปี ค.ศ.1979 Goldstein และคณะ (30) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดก่อนกำหนด เด็กคลอดครบกำหนด และในผู้ใหญ่ ที่ระดับความดัง 65 dBSL พบว่าระยะเวลาระหว่างการเกิดคลื่นที่ I-V หรือ ระยะเวลาการนำสัญญาณของเซลล์ประสาทการได้ยินส่วนกลางในส่วนของก้านสมอง(Central Conduction Time)ในเด็กที่มีอายุครรภ์ 31 สัปดาห์, อายุครรภ์ 37 สัปดาห์, อายุครรภ์ครบกำหนด และผู้ใหญ่ มีค่าเท่ากับ 5.76, 5.41, 5.10 และ 4.03 มิลลิวินาที ตามลำดับ พวกเขา กล่าวว่า การที่ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นลดลงนั้นเนื่องจากการนำสัญญาณประสาทที่เร็วขึ้นจากการที่มี Myelin มีความหนาเพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ.1980 Gafni และคณะ (55) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนดอายุ 12 วัน และ อายุ 3 เดือน โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 10 - 20 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 250-5000 Hz ที่ระดับความดัง 75 dBnHL พบว่า ระยะเวลาการนำสัญญาณของเซลล์ประสาทในส่วนของก้านสมองของเด็กอายุ 12 วัน และเด็กอายุ 3 เดือน มีค่าเท่ากับ 5.86 ± 0.34 และ 5.40 ± 0.25 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราลดลงโดยเฉลี่ย 0.035 ± 0.02 มิลลิวินาทีต่อสัปดาห์

ปี ค.ศ.1983 Stockard และคณะ (49) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง ที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พยาธิสภาพ, เสียงกระตุ้น, วิธีการบันทึก และตัวผู้รับการทดสอบ โดยศึกษาในเด็กคลอดครบกำหนดที่มี อายุ 1-3 วันและ 1-2 เดือน และเด็กคลอดก่อนกำหนดที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน มีอายุ(นับรวมกับอายุครรภ์) 28-42 สัปดาห์ โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 5, 10, 30 และ 80 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 100-3000 Hz จากการศึกษาพบว่า

- เด็กที่มีการนำเสียงผิดปกติ มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I และคลื่นที่ V ยาวขึ้น และเนื่องจากคลื่นที่ I มีอัตราการเพิ่มมากกว่าคลื่นที่ V จึงทำให้ ระยะเวลา ระหว่างคลื่นที่ I - V มีค่าสั้นกว่าปกติ
- เด็กที่มีพยาธิสภาพที่ส่วนของก้านสมอง มีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V เพิ่มขึ้น
- อัตราการเกิดเสียงคลิก มีผลต่อค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V เพราะอัตราการเกิดเสียงคลิกมีผลต่อค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V และจะมีผลต่อค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I เมื่อใช้ Condensation polarity
- เมื่อระดับความดังลดลงทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I และคลื่น ที่ V เพิ่มขึ้น แต่มีอัตราการเพิ่มที่ไม่เท่ากัน จึงมีผลทำให้ระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V มี ค่าสั้นกว่าปกติ

ปี ค.ศ.1987 Zimmerman และคณะ (60) ศึกษาลักษณะพัฒนาการของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กที่มีอายุตั้งแต่แรกเกิด จนกระทั่งอายุ 6 เดือน จากการศึกษาพบว่า ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III และ I-V ลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น และตามอัตราการเกิดเสียงคลิกที่ลดลง

ปี ค.ศ.1987 Gorga และคณะ (61) จากการศึกษาพบว่า ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III มีค่ามากกว่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ III-V ซึ่งเป็นรูปแบบเช่นเดียวกันกับของผู้ใหญ่ และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปี ค.ศ.1988 Eggermont และ Salamy (62) ศึกษาพัฒนาการของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดก่อนกำหนด และคลอดครบกำหนด โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 15 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 100-3000 Hz ที่ระดับความดัง 60 dBnHL พบว่า เด็กคลอดก่อนกำหนดที่มีอายุ 7 สัปดาห์ มีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V เท่ากับ 4.7 - 6.7 มิลลิวินาที และเด็กคลอดครบกำหนดอายุ 6 สัปดาห์ มีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V เท่ากับ 4.2 - 5.0 มิลลิวินาที

ปี ค.ศ.1990 Adelman และคณะ (50) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียง และค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กคลอดครบกำหนด โดยใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 10-20 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 200-2000 Hz จากการศึกษาพบว่า เมื่อเด็กอายุ 5 เดือน 15 วัน ยังคงมีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ยาวกว่าผู้ใหญ่ พวกเขาให้เหตุผลว่าการที่ผู้ใหญ่มีค่าระยะเวลาการนำสัญญาณของเซลล์ประสาทที่สั้นกว่าเด็ก เนื่องจากจาก Myelin ที่เจริญและสมบูรณ์จึงช่วยให้มีการ Synapse ของเซลล์ประสาทได้ดีกว่าในเด็ก

5. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการตอบสนอง

5.1 อิทธิพลจากตัวผู้รับการทดสอบ (Subject Variable)

5.1.1 อายุ จากการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอายุต่อผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองของผู้วิจัยหลายๆคนที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของวุฒิภาวะ (Maturation) มีผลทำให้ลักษณะรูปร่างของคลื่น ความสูงของคลื่น และระยะเวลาการเกิดคลื่นมีการเปลี่ยนแปลง (16, 42) เนื่องจากวุฒิภาวะของเด็กมีความสัมพันธ์กับอายุ กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระและโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนนอก เช่นการเปลี่ยนแปลงของ Neural generator, เซลล์ประสาท, Synapse, Cochlea, ความต้านทานของหูชั้นกลางและหูชั้นนอก (63, 64) ในเด็กทารก อายุมีผลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่นเป็นอย่างมากดังนั้นจึงควรกำหนดอายุเป็นช่วง ๆ ในการสร้างค่าบรรทัดฐาน

การบันทึกผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง สามารถทำได้ในเด็กคลอดก่อนกำหนด และเด็กคลอดครบกำหนดได้เช่นเดียวกับผู้ใหญ่ ในเด็กคลอดครบกำหนดแรกเกิด จะเห็นการตอบสนองเพียง 3 คลื่น ได้แก่คลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V เด็กแรกเกิดมีระยะเวลาการเกิดคลื่นและความสูงของคลื่นที่ต่างจากผู้ใหญ่ สาเหตุของความแตกต่างเนื่องมาจากระบบประสาทการได้ยินยังเจริญไม่สมบูรณ์เต็มที่ จนกระทั่งเด็กมีอายุ 18 เดือน- 2 ปี ลักษณะการตอบสนองจึงจะใกล้เคียงผู้ใหญ่ (16)

ปี ค.ศ.1974 Hecox และคณะ (65) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองโดยเปรียบเทียบในเด็กคลอดครบกำหนดที่มีอายุ 21 วัน อายุ 7 เดือน และในผู้ใหญ่ พบว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ในเด็กอายุ 21 วัน ยาวกว่าในเด็กอายุ 7 เดือน และเด็กอายุ 7 เดือน มีระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ยาวกว่าผู้ใหญ่

ปี ค.ศ.1975 Schulman-Galambos และ Galambos (54) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กที่มีอายุครรภ์ 34-42 สัปดาห์ โดยใช้เสียงคลิกความดัง 60 dBSL อัตราการเกิดเสียงคลิก 33.3 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 100-3000 Hz พบว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นมีค่าลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V มีอัตราลดลงประมาณ 0.3-0.5 มิลลิวินาทีต่อสัปดาห์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปตามวุฒิภาวะ (Maturation) ของระบบการได้ยินส่วนนอก (Peripheral auditory system)

ปี ค.ศ.1975 Salamy และ McKean (42) ศึกษาพัฒนาการของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนดอายุแรกคลอด - 1 ปี โดยศึกษาเด็กในช่วงอายุ 16-96 ชั่วโมง, 1 เดือน, 15 วัน, 3 เดือน, 6 เดือน และ 1 ปี พบว่า ลักษณะรูปร่างของคลื่นจะปรากฏชัดเจนขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น และใกล้เคียงผู้ใหญ่เมื่อเด็กมีอายุ 3-6 เดือน และระยะเวลาการเกิดคลื่นลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น พบว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I มีค่าใกล้เคียงกับผู้ใหญ่เมื่อเด็กอายุ 1 เดือน 15 วัน และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V มีค่าใกล้เคียงผู้ใหญ่ เมื่อเด็กมีอายุ 1 ปี

ปี ค.ศ.1977 Starr และคณะ (39) ศึกษาพัฒนาการของระบบการได้ยินในเด็กคลอดก่อนกำหนด และคลอดครบกำหนดที่มีอายุครรภ์ 25-44 สัปดาห์ พบว่า ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น I, III และคลื่นที่ V ลดลงเมื่อเด็กมีวุฒิภาวะ (Maturation) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากการใช้ความดัง 65 dBSL เด็กที่มีอายุครรภ์ 26 สัปดาห์ และเด็กที่มีอายุครรภ์ 40 สัปดาห์ มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 9.9 มิลลิวินาที และ 6.9 มิลลิวินาที ตามลำดับ และมีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V เท่ากับ 7.2 มิลลิวินาทีและ 5.2 มิลลิวินาทีตามลำดับ และจากการศึกษายังพบว่า ในเด็กคลอดก่อนกำหนดมีอัตราการลดลงของคลื่นที่ V มากกว่าในเด็กที่คลอดครบกำหนด ซึ่งเห็นได้จากเด็กที่มีอายุครรภ์ 32 สัปดาห์ จนกระทั่งเด็กมีอายุ 34 สัปดาห์ ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะลดลง 0.8 มิลลิวินาที ในขณะที่เด็กที่มีอายุครรภ์ 38 สัปดาห์ จนกระทั่งเด็กมีอายุครรภ์ 40 สัปดาห์ ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะลดลง 0.1 มิลลิวินาที

ปี ค.ศ.1979 Goldstein และคณะ (30) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดก่อนกำหนด และคลอดครบกำหนดที่มีอายุครรภ์ 31-42 สัปดาห์ พบว่า ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น และเด็กที่มีอายุครรภ์ 31 สัปดาห์ไปจนกระทั่งเด็กที่มีอายุครรภ์ 33 สัปดาห์ ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I มีค่าลดลงเท่ากับ 0.73 มิลลิวินาที และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ลดลงเท่ากับ 0.42 มิลลิวินาที เด็กที่มีอายุครรภ์ 37 สัปดาห์ไปจนกระทั่งเด็กมีอายุครรภ์ครบกำหนด ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I จะลดลง 0.07 มิลลิวินาที และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V จะลดลง 0.30 มิลลิวินาที และจากเด็กที่มีช่วงอายุครรภ์ครบกำหนดไปจนกระทั่งถึงวัยผู้ใหญ่ ค่าระยะ

เวลาการเกิดคลื่นที่ I จะลดลง 0.11 มิลลิวินาที และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V จะลดลง 1.07 มิลลิวินาที จากการศึกษาสรุปได้ว่า เด็กที่คลอดก่อนกำหนด มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ยาวกว่าเด็กคลอดครบกำหนด เนื่องจากเด็กคลอดก่อนกำหนดมีระบบการได้ยินที่ยังเจริญไม่สมบูรณ์ และเมื่อเด็กมีอายุ 2 ปี จึงจะมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ใกล้เคียงกับผู้ใหญ่

ปี ค.ศ.1979 Stockard และคณะ (43) ได้เปรียบเทียบค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนดกับผู้ใหญ่ พบว่ามีค่าต่างกันเท่ากับ 0.9 มิลลิวินาที (ในเด็กเท่ากับ 4.92 มิลลิวินาที ผู้ใหญ่ เท่ากับ 4.05 มิลลิวินาที)

ปี ค.ศ.1980 Gafni และคณะ (55) ได้วิเคราะห์ผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด และติดตามผลการศึกษาอีกเมื่อเด็กมีอายุ 3 เดือน พบว่าตั้งแต่แรกเกิดจนกระทั่งอายุ 3 เดือน มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ไม่แตกต่างกัน และตั้งแต่แรกเกิดจนกระทั่งอายุ 3 เดือน ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ลดลงในอัตรา 0.035 ± 0.02 มิลลิวินาทีต่อสัปดาห์

ปี ค.ศ.1980 Kaga และ Tanaka (27) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กช่วงอายุ 1-18 เดือน อายุ 2-5 ปี และผู้ใหญ่อายุ 18-22 ปี พบว่า ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น และค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียง (ABR threshold) มีค่าลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น โดยเด็กทารกมีค่าสูงสุดเท่ากับ 32 dBHL และผู้ใหญ่มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงต่ำสุดเท่ากับ 5 dBHL และเมื่อเด็กมีอายุประมาณ 2-3 ปี จึงมีค่าใกล้เคียงกับผู้ใหญ่

ปี ค.ศ.1982 Jacobson และคณะ (40) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนดที่มีอายุครรภ์ (นับอายุครรภ์รวมกับอายุหลังคลอด) 40-49 สัปดาห์ พบว่าที่ระดับความดัง 60 dBnHL ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ของเด็กที่มีอายุครรภ์ 40 สัปดาห์ และ 49 สัปดาห์ มีค่าเท่ากับ 7.16 และ 6.72 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งลดลงเท่ากับ 0.44 มิลลิวินาที ในขณะที่คลื่นที่ I และคลื่นที่ III มีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 0.25 และ 0.18 มิลลิวินาที ตามลำดับ ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ของเด็กมีค่าใกล้เคียงผู้ใหญ่เมื่อเด็กมีอายุ 2 เดือน และระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ของเด็กมีค่าใกล้เคียงกับผู้ใหญ่เมื่อเด็กมีอายุ 1 ปี สำหรับค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V มีค่าลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ในช่วงอายุครรภ์ 40-49 สัปดาห์ ลดลงเท่ากับ 0.22 มิลลิวินาที

ปี ค.ศ.1982 Rubinstein และ Sohmer (58) ศึกษาระยะเวลาการเกิดคลื่นจากผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนดอายุ 1 - 8 ชั่วโมง และในผู้ใหญ่ พบว่าเด็กมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ยาวกว่าผู้ใหญ่ประมาณ 0.41- 0.45 มิลลิวินาที และเมื่อ

เปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ในเด็กแรกเกิดอายุ 1-3 ชั่วโมง ($1.81 \pm .28$ มิลลิวินาที) กับเด็กแรกเกิดอายุ 7-8 ชั่วโมง (1.77 ± 0.18 มิลลิวินาที) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปี ค.ศ.1982 Roberts และคณะ(66) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิดที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยินที่มีอายุครรภ์ 28-42 สัปดาห์ มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 20 วัน ไซ้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 33 คลิกต่อวินาที ระดับความดัง 70 dBHL ระดับเสียงรบกวน 60-65 dBA พบว่าเด็กที่มีอายุครรภ์ 32-33 สัปดาห์ มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 9.3 มิลลิวินาที และเด็กที่มีอายุครรภ์ 40 สัปดาห์ มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 7.6 มิลลิวินาที พวกเขาบอกว่าเด็กแรกเกิดที่มีสุขภาพสมบูรณ์ ควรมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ไม่เกิน 9.0 มิลลิวินาทีที่ระดับความดัง 70 dBHL

ปี ค.ศ.1983 Stockard และคณะ (49) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดก่อนกำหนดและเด็กคลอดครบกำหนด พบว่าเมื่อใช้ความดังสูงและอัตราการเกิดเสียงคลิกต่ำจะปรากฏคลื่นที่ I และคลื่นที่ V เป็นครั้งแรกในช่วงอายุ 27-30 สัปดาห์ และมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ยาวกว่าเด็กคลอดครบกำหนดประมาณ 0.75 มิลลิวินาที

ปี ค.ศ.1985 Lary และคณะ (32) ศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดก่อนกำหนดและคลอดครบกำหนดที่มีอายุครรภ์ 27-42 สัปดาห์ โดยทำการศึกษาแบบ Longitudinal study พบว่าเด็กที่มีอายุครรภ์ 27 สัปดาห์ มีลักษณะรูปร่างของคลื่นที่ V ที่ไม่ชัดเจน และความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงมีค่าสูง โดยเฉลี่ยเท่ากับ 43.4 dBHL และเมื่ออายุเพิ่มขึ้น (42 สัปดาห์) ลักษณะรูปร่างของคลื่นชัดเจนเพิ่มขึ้น ความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงมีค่าต่ำลงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.5 dBHL

ปี ค.ศ.1985 Durieux-Smith และคณะ (59) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กที่มีอายุ(นับรวมกับอายุครรภ์)32-56 สัปดาห์ พบว่าเด็กที่มีอายุครรภ์ 32-36 สัปดาห์, 38-42 สัปดาห์ และ 52-54 สัปดาห์ มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 7.39 ± 0.40 , 6.89 ± 0.35 และ 6.42 ± 0.26 มิลลิวินาทีตามลำดับ และสรุปว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V มีค่าลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ.1987 Zimmerman และคณะ (60) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนด พบว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V มีค่าลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น และในเด็กช่วงอายุแรกเกิด-14 วัน ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นลดลงมากที่สุด เด็กที่มีอายุตั้งแต่ 14 วันขึ้นไปมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ใกล้เคียงกับผู้ใหญ่ และมีค่าเท่ากับผู้ใหญ่เมื่ออายุ 1 เดือน ในขณะที่เด็กอายุ 6 เดือน ยังคงมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ III และ

คลื่นที่ V ยาวกว่าผู้ใหญ่ พวกเขาสรุปไว้ว่าความสมบูรณ์ของคลื่นที่ I เกิดขึ้นเร็วกว่าคลื่นที่ III และคลื่นที่ V และในช่วง 14 วันหลังคลอดค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นทุกคลื่นเปลี่ยนแปลงเร็วมาก

ปี ค.ศ.1987 Hyde และคณะ (46) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กอายุ 2-6 เดือน พบว่าอายุช่วงนี้ ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ไม่เปลี่ยนแปลง แต่คลื่นที่ III และคลื่นที่ V ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออายุเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I-V ลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน พวกเขาสรุปว่าเด็กเมื่ออายุ 2 เดือน คลื่นที่ I จะมีค่าคงที่ แต่คลื่นที่ V ในช่วงอายุ 2-6 เดือน ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นจะยังคงลดลงในอัตรา 0.1 มิลลิวินาทีต่อเดือน

ปี ค.ศ.1987 Morgan และคณะ (34) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด เด็กโต และผู้ใหญ่ อายุ 9-29 ปี โดยใช้ความดัง 75 dBnHL พบว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น ในเด็กแรกเกิดยาวกว่าเด็กโตและผู้ใหญ่ และพบว่าในเด็กแรกเกิดค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น มีการเปลี่ยนแปลงได้มากกว่าในเด็กโตและผู้ใหญ่

ปี ค.ศ.1988 Eggermont และ Salamy (62) ศึกษาพัฒนาการของ ABR Parameter ในเด็กคลอดก่อนกำหนดที่มีอายุครรภ์ 25-35 สัปดาห์ และเด็กคลอดครบกำหนด ทำการเปรียบเทียบเด็กทั้ง 2 กลุ่ม เมื่อจำนวนอายุครรภ์เท่ากัน (นับอายุครรภ์ก่อนคลอดและหลังคลอดรวมกัน) พบว่าในเด็กที่คลอดก่อนกำหนดมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I และคลื่นที่ V ยาวกว่าเด็กคลอดครบกำหนด แต่ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ซึ่งแสดงถึงระยะเวลาการนำสัญญาณของเซลล์ประสาท ของเด็กทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าเด็กที่คลอดก่อนกำหนดเมื่อโตจนกระทั่งมีอายุเท่ากับเด็กที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด จะมีวุฒิภาวะของระบบการได้ยินระดับก้านสมอง (Auditory brainstem maturation) ที่ไม่แตกต่างไปจากเด็กที่คลอดครบกำหนด

ปี ค.ศ.1990 Adelman และคณะ (50) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนดที่มีอายุ 1 ชั่วโมง - 5 เดือน จากการศึกษพบว่าเด็กแรกเกิด - 8 วัน ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียง มีอัตราลดลง 2.15 dB ต่อวัน และเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 8 วันขึ้นไป ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงลดลง 0.06 dB ต่อวัน และเด็กที่มีอายุ 264 - 420 ชั่วโมง หรือประมาณ 11-17 วัน มีค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงไม่แตกต่างจากผู้ใหญ่ สำหรับระยะเวลาการเกิดคลื่นในเด็กแรกเกิด - 2 วัน มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ลดลงในอัตรา 0.26 มิลลิวินาทีต่อวัน และเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 2 วันขึ้นไป มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ลดลงในอัตรา 0.0014 มิลลิวินาทีต่อวัน และเมื่อเด็กมีอายุ 11-17 วัน จึงจะมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I

ใกล้เคียงกับผู้ใหญ่ สำหรับระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V พบว่าเมื่อเด็กมีอายุ 5 เดือน 15 วัน ยังคงมีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ยาวกว่าผู้ใหญ่

5.1.2 เพศ จากการศึกษาของนักวิจัยหลายคน พบว่าในผู้ใหญ่ เพศมีอิทธิพลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่น โดยที่เพศหญิงมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V สั้นกว่าเพศชายประมาณ 0.2 มิลลิวินาที (16) สาเหตุอาจเกิดจากกายวิภาคที่แตกต่างกันของเพศหญิงและเพศชาย เนื่องจากเพศหญิงมีขนาดศีรษะที่เล็กกว่า ทำให้ทางเดินระบบประสาทการได้ยินสั้นกว่า จึงทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นสั้นกว่าในเพศชาย (Stockard และคณะ (67), Gorga และคณะ (68)) อิทธิพลของฮอร์โมน Progesterone ในเพศหญิงช่วงหลังการตกไข่ จะมีระดับฮอร์โมนสูงสุดและเนื่องจากฮอร์โมน Progesterone ทำให้เซลล์มีความไวต่อการได้รับการกระตุ้นจากกระแสไฟฟ้า และฮอร์โมนนี้มีผลต่อไฮโปทาลามัส ทำให้อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้นด้วย จึงทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ของเพศหญิงสั้นลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Dehan และ Jerger, 69) นอกจากนี้ Hall (16) ยังพบว่าในเพศหญิงและเพศชายที่มีอายุอยู่ในระดับเดียวกัน เพศหญิงจะมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V สั้นกว่าเพศชาย สำหรับในเด็ก มีผู้ศึกษาและรายงานผลไว้ดังนี้

ปี ค.ศ.1979 Stockard และคณะ (43) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กตลอดครบกำหนดอายุ 1-4 วัน จำนวน 77 คน เป็นเด็กเพศชายจำนวน 44 คน เด็กเพศหญิงจำนวน 33 คน พบว่าเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง มีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I- V เท่ากับ 4.14 ± 0.23 และ 3.93 ± 0.20 มิลลิวินาที จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า เด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง มีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปี ค.ศ.1981 Cox และคณะ (56) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กตลอดก่อนกำหนด ที่แรกเกิดมีอายุครรภ์ 27-36 สัปดาห์ และทำการทดสอบเมื่อเด็กมีอายุ (นับรวมกับอายุครรภ์) เท่ากับ 33-40 สัปดาห์ ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 5 (หน้า 33) พบว่าเด็กเพศหญิงมีระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I คลื่นที่ V และระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ในช่วงอายุตั้งแต่ 35-40 สัปดาห์ แตกต่างกับเด็กเพศชาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่น และระยะเวลาระหว่างคลื่น ของเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง (จากการศึกษาของ Cox และคณะ,56)

อายุ (สัปดาห์)	ระยะเวลาการเกิดคลื่น (มิลลิวินาที)					
	เด็กเพศชาย			เด็กเพศหญิง		
	I	V	I-V	I	V	I-V
33-34	3.52	7.80	4.28	3.29	7.96	4.67
35-36	3.59*	8.55*	4.96	2.90*	7.62*	4.67
37-38	2.89*	7.95	5.06	3.39*	8.11	4.72
39-40	3.22	8.47*	5.25*	2.95	7.72*	4.77
4 เดือน	2.81	6.98	4.17	2.81	6.99	4.18

* P < 0.05

ปี ค.ศ.1982 Jacobson และคณะ (40) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กตลอดครบกำหนดที่มีอายุ 40-49 สัปดาห์ พบว่าทั้งเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิงมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นไม่แตกต่างกัน

ปี ค.ศ.1985 Rosenhall และคณะ (70) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในคนอายุ 5-75 ปี พบว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ของเพศชายและเพศหญิงไม่มีความแตกต่างกัน ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ของเพศชายยาวกว่าเพศหญิง 0.1-0.2 มิลลิวินาที ระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V ของทุกช่วงอายุ พบว่า เพศชายยาวกว่าเพศหญิง 0.1-0.8 มิลลิวินาที

ปี ค.ศ.1985 Durieux-Smith และคณะ (59) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง เด็กที่มีอายุครรภ์ 32-56 สัปดาห์ พบว่าเด็กทั้งเพศชายและเพศหญิงมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นไม่แตกต่างกัน

ปี ค.ศ.1987 Thivierge และCote (71) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กอายุ 4-13 ปี พบว่าเด็กเพศชายมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ III, IV และคลื่นที่ V และระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III ยาวกว่าเพศหญิงประมาณ 0.10-0.11 มิลลิวินาที แต่ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ของเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิงไม่มีความแตกต่างกัน

ปี ค.ศ.1987 Hyde และคณะ (46) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กอายุ 2-6 เดือน จำนวน 230 คน จากผลการวิเคราะห์พบว่า เพศ มีอิทธิพลต่อระยะ

เวลาการเกิดคลื่นที่ III และคลื่นที่ V แต่ไม่มีผลกับระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I เมื่อเด็กมีอายุ 4 เดือน เด็กเพศหญิงมีระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V และระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-V สั้นกว่าเด็กเพศชายเท่ากับ 0.2 และ 0.12 มิลลิวินาที ตามลำดับ

ปี ค.ศ.1989 Lohmaneeratana (72) ศึกษาค่าปกติของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กอายุ 1 ปี 7 เดือน - 8 ปี พบว่าเด็กเพศชายมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่น และระยะเวลาระหว่างคลื่น ยาวกว่าเด็กเพศหญิง 0.08 และ 0.12 มิลลิวินาที ตามลำดับ

5.1.3 อุณหภูมิของร่างกาย โดยทั่วไปแล้วในคนที่มีความสุขภาพสมบูรณ์ (ทั้งเด็กแรกเกิด - ผู้ใหญ่) อุณหภูมิในร่างกายจะไม่มีผลต่อการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง แต่อุณหภูมิในร่างกายจะมีผลต่อกลุ่มคนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 36 องศาเซลเซียส หรือ สูงกว่า 38 องศาเซลเซียส เช่น กลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ Hypothermia ได้แก่ เด็กที่คลอดก่อนกำหนด หรือผู้ป่วยโคม่าจากการที่สมองได้รับอันตรายอย่างรุนแรง และในกลุ่มผู้ป่วยที่มีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดภาวะ Hyperthermia ได้แก่ ผู้ป่วยไข้ติดเชื้อ (Sepsis) (45) Hall และคณะ (16) รายงานไว้ว่า เมื่ออุณหภูมิลดลง มีผลทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น โดยค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้น 0.2 มิลลิวินาที ทุกอุณหภูมิที่ลดลง 1 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ลดลง โดยค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะลดลง 0.15 มิลลิวินาที ทุกอุณหภูมิที่สูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส (16)

ภาวะ Hypothermia ทำให้เซลล์ประสาทมี Synaptic transmission ที่ช้าลง และความเร็วในการนำสัญญาณของเซลล์ประสาทลดลง จึงมีผลทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้น และในผู้ป่วยที่ร่างกายมีอุณหภูมิต่ำกว่า 14-20 องศาเซลเซียส จะไม่เห็นผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมอง (73)

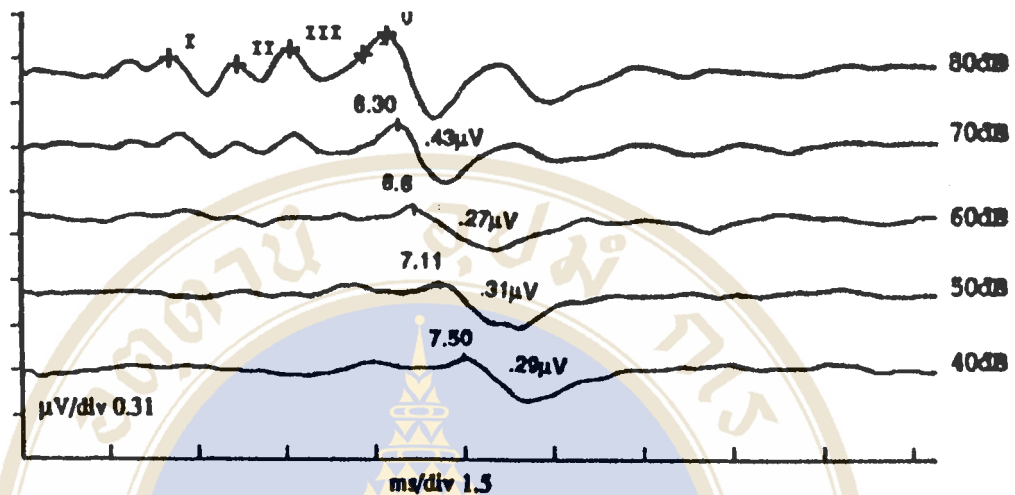
ปี ค.ศ.1978 Stockard และคณะ (67) ศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ระยะเวลาระหว่างคลื่นเพิ่มขึ้น และความสูงของคลื่นลดลง

สำหรับเด็กแรกเกิด ยังไม่มีใครศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองหรือไม่ (16)

5.2 อิทธิพลจากเสียงกระตุ้น (Stimulus Variables)

5.2.1 ระดับความดัง (Intensity) การเปลี่ยนแปลงระดับความดังมีผลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่น และความสูงของคลื่น โดยทั่วไป เมื่อเพิ่มระดับความดังมีผลทำให้ค่าระยะเวลา

การเกิดคลื่นลดลง และความสูงของคลื่นจะสูงขึ้น (16, 45)



รูปที่ 3 แสดงอิทธิพลของเสียงกระตุ้น ที่มีผลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่น ความสูงของคลื่น และรูปร่างของคลื่น (จาก Jacobson J.T "Principle and Application in Auditory Evoked Potential" 1994 หน้า 129) (20)

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อลดระดับความดัง ทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้น ความสูงของคลื่นลดลง และความชัดเจนของรูปร่างคลื่นลดลง (74) เมื่อให้เสียงกระตุ้นที่มีความดังมาก จะทำให้ระยะเวลาการเดินทางของเสียงจากหน้าต่างรูปไข่ (Oval window) ไปยังส่วนฐานของอวัยวะรูปก้นหอยใช้เวลาในระยะสั้น(16) เสียงที่มีความดังมาก จะทำให้ Basilar membrane สั่นสะเทือนแรงขึ้น ทำให้ Hair cell จำนวนมากถูกกระตุ้นทำให้เกิด Spatial summation(เซลล์ประสาทจำนวนมากถูกกระตุ้นในเวลาเดียวกันทำให้เกิด Postsynaptic excitation potential)ของกระแสประสาทผ่านใยประสาทเป็นจำนวนมาก(75) จึงทำให้เห็นรูปร่างคลื่นที่ชัดเจน (16) และจากการที่ Basilar membrane สั่นสะเทือนแรงขึ้น ทำให้ Hair cell สั่นแรงขึ้นเช่นเดียวกัน จึงเป็นการกระตุ้นปลายประสาทด้วยอัตราที่สูง ทำให้ระยะเวลาในการส่งผ่านสัญญาณของเซลล์ประสาท จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งเร็วขึ้น (16)

ปกติความเร็วของ Traveling wave บน Basilar membrane ที่บริเวณส่วนฐานของอวัยวะรูปก้นหอยจะมีความเร็ว(ที่ ความถี่ 10,000 Hz = 20 เมตรต่อวินาที) ที่เร็วกว่าบริเวณส่วนยอดของอวัยวะรูปก้นหอย (ที่ความถี่ 500 Hz= 2 เมตรต่อวินาที) ฉะนั้นถ้าความเร็วไม่พอที่จะมีผลต่อการ Synchronous firing ของ Auditory nerve การเดินทางของ Traveling wave จากที่

ความถี่ 10,000 Hz ไปจนถึงที่ 500 Hz จะใช้เวลาประมาณ 2 มิลลิวินาที ดังนั้นการที่กระตุ้นอวัยวะรูปก้นหอย ด้วยการเพิ่มความถี่หรือความดัง จึงทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นลดลง (16)

ในผู้ใหญ่เมื่อใช้เสียงคลิกความดัง 75-95 dBnHL มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 5.5-6.0 มิลลิวินาที ในเด็กคลอดครบกำหนดเมื่อกระตุ้นด้วยเสียงคลิกความดัง 60 dBnHL มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ประมาณ 6.8-7.0 มิลลิวินาที ความดัง และระยะเวลาการเกิดคลื่นมักจะแสดงความสัมพันธ์เป็นรูปกราฟและเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า Latency-Intensity Function ความชันของกราฟ (ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V กับความดัง) สามารถใช้ประเมินระดับการได้ยิน และชนิดของการสูญเสียการได้ยิน (16, 74) ในการวินิจฉัยเพื่อหาพยาธิสภาพ ควรใช้ความดังสูง เพราะจะเห็นการตอบสนองของคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ได้ชัดเจน ในขณะที่การใช้ความดังต่ำ มักพบเสมอว่ายอดของคลื่นที่ I และคลื่นที่ III มีลักษณะเป็น 2 แฉก (Bifid) โดยเฉพาะยอดของคลื่นที่ V จะพบว่าเป็นลักษณะ 2 ยอด (Double peak) ได้บ่อยมาก (74)

ปี ค.ศ.1974 Hecox และคณะ (65) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กที่มีอายุ 21 วัน - 3 ปี และในผู้ใหญ่ โดยใช้ความดัง 60, 40 และ 20 dB SL พบว่าเมื่อลดระดับความดังลง ทั้งเด็กและผู้ใหญ่จะมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้น และที่ทุกระดับความดังพบว่า คลื่นที่ V เป็นคลื่นเดียวที่ยังคงเห็นและมีความชัดเจนมากที่สุด

ปี ค.ศ.1975 Schulman-Galambos และ Galambos (54) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดก่อนกำหนด และคลอดครบกำหนด ใช้ความดัง 60, 50, 40 และ 30 dB SL พบว่าเด็กที่คลอดก่อนกำหนด ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น 0.4 มิลลิวินาที ต่อความดังที่ลดลง 10 dB

ปี ค.ศ.1977 Starr และคณะ (39) ศึกษาพัฒนาการของหน้าที่ของระบบการได้ยิน (Auditory Function) ในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ (นับรวมกับอายุหลังคลอด) 25-44 สัปดาห์ พบว่าระดับความดังมีอิทธิพลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่น ผลจากการลดความดังทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้น เมื่อลดความดังลง 20 dB (จากความดัง 65-45 dB) ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้นประมาณ 0.2-2.0 มิลลิวินาที และในผู้ใหญ่ก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นกันแต่น้อยกว่า โดยระยะเวลาการเกิดคลื่นจะเพิ่มขึ้น 0.9 มิลลิวินาที จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงนี้มีความสัมพันธ์กับวุฒิภาวะ (Maturation) ของ Peripheral auditory mechanism และ Central conduction time ในเด็ก

ปี ค.ศ.1979 Stockard และคณะ (43) ศึกษาลักษณะของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองเมื่อได้รับอิทธิพลจากเสียงกระตุ้น โดยทำการศึกษาในเด็กอายุครรภ์

38-42 สัปดาห์ โดยใช้ความดัง 70, 60, 50, 40 และ 30 dBHL พบว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความดังลดลง และค่าที่ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I จะเพิ่มขึ้นมากกว่าคลื่นที่ III และคลื่นที่ V

ปี ค.ศ.1982 Jacobson, และคณะ (40) ศึกษาในเด็กจำนวน 124 คน อายุครรภ์ (นับรวมกับอายุหลังคลอด) 40-49 สัปดาห์ โดยใช้เสียงคลิกความดัง 60 และ 30 dB พบว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V เพิ่มขึ้นเมื่อลดระดับความดัง โดยที่ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.05, 0.91 และ 1.04 มิลลิวินาที ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้นประมาณ 0.34 มิลลิวินาทีเมื่อลดความดังลง 10 dB สำหรับระยะเวลาระหว่างคลื่นมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มระดับความดัง และค่านี้นลดลงอย่างไม่สม่ำเสมอ ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุ

ปี ค.ศ.1982 Zubick และคณะ (44) ศึกษาในเด็กแรกเกิดจำนวน 115 คน อายุ 36 ชั่วโมง พบว่า ที่ระดับความดัง 65 dB จะปรากฏรูปร่างของคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ได้ชัดเจนกว่าคลื่นที่ II และคลื่นที่ IV และที่ระดับความดัง 45 dB จะปรากฏรูปร่างของคลื่นที่ V ได้ชัดเจนกว่าคลื่นที่ I และคลื่นที่ III

ปี ค.ศ.1985 Durieux-Smith และคณะ (59) จากการศึกษาในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ (นับรวมกับอายุหลังคลอด) 32-56 สัปดาห์ โดยใช้ความดัง 70 dBnHL พบว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ III และคลื่นที่ V ลดลงเมื่อระดับความดังเพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ.1987 Moregan และคณะ (34) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กคลอดครบกำหนด โดยลดระดับความดังจาก 75 dB ถึง 25 dB โดยลดความดังลงทีละ 10 dB พบว่า เมื่อลดระดับความดังลง มีผลทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ.1987 Gorga และคณะ (61) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กที่มีอายุครรภ์ (นับรวมกับอายุหลังคลอด) 33-44 สัปดาห์ เป็นเด็กที่มีระดับการได้ยินต่ำกว่า 30 dBnHL โดยใช้ความดัง 80, 60, 40 และ 20 dBnHL พบว่าในเด็กที่มีอายุครรภ์ 39 - 40 สัปดาห์ มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60, 40 และ 20 dBnHL เท่ากับ 6.816, 7.300, 8.110 และ 9.355 มิลลิวินาที ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.381, 0.396, 0.489 และ 0.567 มิลลิวินาทีตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติสรุปได้ว่าความดังมีอิทธิพลต่อระยะเวลาการเกิด ที่ V

ปี ค.ศ.1989 Lohmaneeratana (72) ศึกษาค่าปกติของผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กช่วงอายุ 1ปี 7 เดือน - 8 ปี พบว่า ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ระดับความดัง 90, 70 และ 50 dBHL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ค่าเฉลี่ย

ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ระดับความดัง 90 และ 70 dBHL ไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับค่าเฉลี่ย ระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ระดับความดัง 90 และ 70 dBHL ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ที่ระดับความ ดัง 70 และ 50 dBHL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.2.2 อัตราการเกิดเสียงคลิก (Repetition Rate) การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิด เสียงคลิคนั้นมีผลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่น ความสูงของคลื่น และลักษณะรูปร่างของคลื่น สำหรับในเด็กทารก การเพิ่มอัตราการเกิดเสียงคลิกมีผลทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้น และความสูงของคลื่นลดลง จากการศึกษาของ Stockard และคณะ ปี ค.ศ. 1979(43) เมื่อใช้ อัตราการเกิดเสียงคลิก 10-80 คลิกต่อวินาที ในเด็กแรกเกิด พบว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I มีอัตราการเปลี่ยนแปลง 0.89 ± 0.10 มิลลิวินาที Hall (16) กล่าวว่า การเพิ่มอัตราการเกิดเสียง คลิคนั้น มีผลต่อการล้าของเซลล์ประสาท (Neural fatigue)

ปี ค.ศ.1985 Durieux-Smith (59) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้าน สมองในเด็กที่มีอายุครรภ์(นับรวมกับอายุหลังคลอด) 32-56 สัปดาห์ โดยใช้อัตราการเกิดเสียง คลิก 11 คลิกต่อวินาที จำนวน 2000 คลิก และอัตราการเกิดเสียงคลิก 61 คลิกต่อวินาที จำนวน 4000 คลิก ที่ระดับความดัง 70 dBnHL พบว่า อัตราการเกิดเสียงคลิกมีความสัมพันธ์กับระยะ ระยะเวลาการเกิดคลื่น โดยเมื่อลดอัตราการเกิดเสียงคลิกจาก 61 คลิกต่อวินาที เป็น 11 คลิกต่อวินาที พบว่าเด็กที่มีอายุครรภ์ 32 สัปดาห์ มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ลดลงประมาณ 1.3 มิลลิวินาที และในเด็กที่มีอายุครรภ์ 56 สัปดาห์ จะมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ลดลงประมาณ 0.6 มิลลิ- วินาที

ปี ค.ศ.1987 Zimmerman และ คณะ (60) ศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับ ก้านสมองในเด็กตลอดครบกำหนดจำนวน 22 คน ในช่วงอายุ 6 เดือนแรกของชีวิต โดยใช้อัตรา การเกิดเสียงคลิก 11.1, 33.3, และ 66.6 คลิกต่อวินาที พบว่า ทั้งเด็กเล็กและเด็กโตเมื่อเพิ่มอัตรา การเกิดเสียงคลิก ระยะเวลาการเกิดคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการเพิ่มอัตรา การเกิดเสียงคลิก มีผลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ในเด็กเล็กมากกว่าเด็กโต และการเพิ่ม อัตราการเกิดเสียงคลิกยังทำให้ระยะเวลาระหว่างคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นอีกด้วย

5.2.3 Polarity ของเสียงกระตุ้น Polarity ของเสียงกระตุ้นที่ใช้ อาจเป็น Condensation polarity หรือ Rarefaction polarity หรืออาจเป็น Alternating polarity Stockard และคณะ (43) กล่าวว่า เมื่อใช้เสียงคลิกที่ระดับความดัง 70 dBHL การใช้ Rarefaction polarity จะให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V สั้นกว่าการใช้ Condensation polarity Kiang, Watanabe และ Thomas 1965 (อ้างใน45) ได้กล่าวว่า Rarefaction polarity

เท่านั้น ที่มีผลต่อการกระตุ้น Auditory neurons Sininger และ Masudu 1990 (อ้างใน45) พบว่า Polarity ของเสียงคลิกไม่มีอิทธิพลต่อการศึกษาค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง สำหรับ Alternating polarity มักใช้เพื่อช่วยลด Electrical artifact ทำให้ Signal to noise ratio ดีขึ้น ทำให้เห็นคลื่นที่ I ชัดเจนขึ้นซึ่งจะมีผลต่อการวัดระยะเวลาการเกิดคลื่น(45)

ในเด็กทารก Polarity ของเสียงกระตุ้นจะมีอิทธิพลต่อลักษณะรูปร่างของคลื่น แต่จะมีอิทธิพลน้อยมากต่อระยะเวลาการเกิดคลื่น (45)

ปี ค.ศ.1979 Stockard และคณะ (43) ศึกษาในเด็กอายุครรภ์ครบกำหนด โดยใช้ Condensation polarity และ Rarefaction polarity ที่ระดับความดัง 70 dBHL พบว่า Condensation polarity และ Rarefaction polarity มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 7.61 ± 0.34 และ 7.60 ± 0.39 มิลลิวินาทีตามลำดับ และมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I เท่ากับ 1.94 ± 0.25 และ 1.81 ± 0.22 มิลลิวินาทีตามลำดับ พวกเขาสรุปว่า Polarity ของเสียงกระตุ้นมีอิทธิพลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I มากกว่าคลื่นที่ V และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น มีการเปลี่ยนแปลงได้มากถึง 0.6 มิลลิวินาที และจากการศึกษาในผู้ใหญ่พบว่า Polarity ของเสียงกระตุ้นมีผลต่อลักษณะรูปร่างของคลื่น

ปี ค.ศ.1983 Stockard และคณะ (49) ศึกษาในเด็กคลอดครบกำหนดโดยใช้ Condensation polarity และ Rarefaction polarity พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการเกิดเสียงคลิก และใช้ Condensation polarity จะให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I เพิ่มขึ้น 0.4 มิลลิวินาที แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราการเกิดเสียงคลิก ร่วมกับการใช้ Rarefaction polarity พบว่า ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I ไม่เปลี่ยนแปลง และจากการศึกษาพบว่า Polarity ของเสียงกระตุ้นมีผลต่อลักษณะรูปร่างของคลื่น และเสนอว่าในการทดสอบควรใช้ Rarefaction polarity เพราะจะให้ลักษณะรูปร่างของคลื่นที่ชัดเจนกว่า

5.3 อิทธิพลจากวิธีการบันทึก (Recording Variables)

5.3.1 ตัวปรับช่วงความถี่ (Filter) ตัวปรับช่วงความถี่ มีความสำคัญในการแยก Background noise ที่ไม่ต้องการออกไป โดยตัวปรับช่วงความถี่จะกรองเอาแต่ Neural signal เข้าสู่ระบบ และไม่ต้องการให้ Background noise ไปมีผลต่อการตอบสนอง (16)

ปี ค.ศ.1994 Stuart และ Yang (76) ได้กล่าวว่า ตัวปรับช่วงความถี่มีอิทธิพลต่อระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V โดยที่พวกเขาได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวปรับช่วงความถี่ที่มีผลต่อ

การตอบสนองในเด็กตลอดครบกําหนดอายุ 48-72 ชั่วโมง พบว่า ที่ระดับความดัง 40 dBnHL ที่ช่วงความถี่ 30-3000 Hz, 100-3000 Hz และ 150-3000 Hz มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 7.94, 7.91 และ 7.87 มิลลิวินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V มีค่าลดลง เมื่อใช้ High-pass Filter ที่สูงขึ้น

Schwartz และ Schwartz (47) เสนอว่า เทคนิควิธีการตรวจ ควรใช้ตัวรับช่วงความถี่โดยให้ High-pass Filter มีค่าต่ำ เพราะจากการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ตัวรับช่วงความถี่ 150-1500 Hz กับ 30-1500 Hz พบว่าเมื่อใช้ช่วงความถี่ 30-1500 Hz จะให้ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองลดลงอีก 15 dB

Stapell (77) รายงานไว้ว่า การเลือกใช้ High-pass Filter ระหว่าง 30 Hz กับ 150 Hz จะให้ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองที่ต่างกัน 3 dB การใช้ High-pass Filter ที่มีค่าต่ำนั้น มีโอกาสที่จะได้ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อเสียงที่ต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ก็มีโอกาสที่ความถี่ต่ำจากภายนอกเข้ามารบกวนได้เช่นกัน เช่น Electromyogenic activity และ Electrical noise

5.3.2 การกำหนดระยะเวลาทางหน้าจอภาพ (Analysis Window) ในการศึกษาองค์ประกอบของคลื่นที่ I, III และ คลื่นที่ V ผลการตอบสนองจะเกิดขึ้นในเวลา 5.5- 6 มิลลิวินาที หลังจากให้เสียงกระตุ้น ซึ่งอยู่ในเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ใช้เสียงคลิกที่ระดับความดังสูง
2. ใช้อัตราการเกิดเสียงคลิกที่ต่ำกว่า 30 คลิก ต่อวินาที
3. ใช้ที่ครอบหูชนิด Supraaural
4. เป็นผู้ใหญ่ที่มีการได้ยินปกติ

ถ้าไม่อยู่ในเงื่อนไขเหล่านี้จะพบว่าระยะเวลาการเกิดที่ V มีค่าเกิน 6 มิลลิวินาที

สำหรับเงื่อนไขที่ทำให้ระยะเวลาการเกิดคลื่นยาวขึ้น ได้แก่

1. ใช้ Insert phone
2. Severe conductive hearing loss
3. เด็กคลอดก่อนกำหนด
4. ใช้ความดังที่ระดับ Threshold
5. Severe auditory dysfunction

ตามปกติเด็กแรกเกิด เมื่อใช้เสียงกระตุ้น 35 dBnHL ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V มีค่าประมาณ 8 มิลลิวินาที แต่การใช้ Insert phone, การทดสอบในเด็กคลอดก่อนกำหนด และเด็กที่มี Mild conductive hearing loss อาจให้ค่าระยะเวลาเกิน 10 มิลลิวินาทีได้ (16, 45)

ดังนั้นการกำหนดระยะเวลาหน้าจอกภาพเกิน 10 มิลลิวินาที จะเป็นการช่วยให้การวินิจฉัยมีความถูกต้องชัดเจนมากขึ้น สำหรับการกำหนดระยะเวลาหน้าจอกภาพ นักวิจัยส่วนใหญ่มักกำหนดระยะเวลาทางหน้าจอกภาพ 15-20 มิลลิวินาที ในการวิเคราะห์ระยะเวลาการเกิดคลื่นในการตรวจเด็กแรกคลอด (45)

6. การตรวจการได้ยินแบบคัดกรองในเด็กแรกเกิด

จุดประสงค์ของการตรวจแบบคัดกรอง เพื่อเป็นการกำหนดว่าเด็กมีการสูญเสียการได้ยินหรือไม่ โดยไม่เน้นถึงค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง และทำในเด็กแรกเกิด ก่อนที่แพทย์จะอนุญาตให้กลับบ้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเด็กแรกเกิดที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน (3) วิธีการตรวจแบบคัดกรองนี้ เป็นสิ่งที่ช่วยตัดสินใจในการกำหนดชนิดของความผิดปกติทางการได้ยิน, ประเมินระดับการได้ยิน และเป็นวิธีการสำหรับการวินิจฉัยขั้นต้นได้อย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันเครื่องทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง เป็นที่นิยมใช้สำหรับการตรวจการได้ยินแบบคัดกรอง (9)

เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจแบบคัดกรอง เป็นจุดที่ใช้ตัดสินผลการตรวจระหว่าง "ผ่าน" กับ "ไม่ผ่าน" ในการกำหนดเกณฑ์ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของแต่ละคลินิกนั้น ๆ เช่น ถ้าคลินิกนั้นต้องการที่จะตรวจหาเฉพาะเด็กที่มีการสูญเสียการได้ยินในระดับ Profound hearing loss เพียงอย่างเดียว ก็สามารถที่จะกำหนดระดับความดังให้มากขึ้นได้ เช่นที่ 80 dB เป็นเกณฑ์การตัดสินใจก็จะเหมาะสม แต่ถ้าต้องการตรวจหาเด็กที่มีการสูญเสียการได้ยินระดับ Mild hearing loss การกำหนดความดังต่ำลงมากก็จะเป็นการเหมาะสม (20)

Downs D.W (31) กล่าวว่า การศึกษาของผู้วิจัยหลาย ๆ คน มีวิธีการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ที่แตกต่างกันไป เช่น การใช้ที่ครอบหู, ชนิดของเสียงกระตุ้น, ความดังของเสียงกระตุ้น, จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง, ตัวปรับช่วงความถี่, ตำแหน่งที่ติด Electrode, การกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจ และอายุของเด็ก นอกจากนี้ยังไม่มีกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับเสียงรบกวน ซึ่งการขาดมาตรฐานเหล่านี้ทำให้ค่าปกติมีการกระจาย และทำให้ข้อมูลที่ไม่ว่านเกณฑ์มีมาก

ดังนั้น นักโสตสัมผัสวิทยาจะต้องสร้างค่าปกติของแต่ละเครื่อง และกำหนดเทคนิควิธีการในการทดสอบด้วย

Weber (57) เสนอว่าควรใช้ความดัง 30 dBnHL เป็นเกณฑ์ ถ้าไม่ผ่าน (ไม่มีการตอบสนอง) ให้ดูระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ความดัง 45 dBnHL ถ้าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V (+ 2 S.D.) อยู่ในเกณฑ์ ก็ถือได้ว่าเด็กคนนั้นมีระดับการได้ยินอยู่ในเกณฑ์ปกติ

Cox และคณะ (56) เสนอว่าเกณฑ์การตัดสินใจ ควรใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2 เท่า ร่วมในการพิจารณา เพราะการใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพียง 1 เท่า จะให้ผลเป็น False positive จำนวนมาก

Stockard และคณะ (49) กล่าวถึงการตรวจการได้ยินแบบคัดกรอง ควรพิจารณา ระดับการได้ยินก่อน แล้วจึงพิจารณาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดังสูง ช่วยในการตัดสินใจ จึงจะประเมินได้ว่าอวัยวะรูปก้นหอยของเด็ก มีการทำงานที่ปกติ

Alberti และคณะ (3) ศึกษาการตรวจการได้ยินแบบคัดกรองโดยใช้ ABR ในกลุ่มเด็กที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน จำนวน 234 คน โดยใช้เสียงคลิก, Alternating polarity อัตราการเกิดเสียงคลิก 40 คลิกต่อวินาที จำนวน 2,000 และ 4,000 คลิก เสียงรบกวนภายในห้องเงียบเท่ากับ 55 dBA ความดังที่ใช้กระตุ้น เท่ากับ 30 และ 40 dB ผลการศึกษาพบดังนี้

เมื่อใช้เกณฑ์ความดัง	จำนวนคลิก	เด็กผ่านเกณฑ์	%
40 dB	4000	92	%
" " 40 dB	2000	"	87 %
" " 30 dB	4000	"	73 %
" " 30 dB	2000	"	65 %

จากข้อมูลแสดงให้เห็นการกำหนดเกณฑ์, เทคนิควิธีการ มีอิทธิพลต่อการประเมินผล ซึ่งจะต้องติดตามประเมินในระยะต่อไป โดยทั่วไปการตรวจแบบคัดกรอง มักไม่เน้นในการพิจารณารูปร่างของคลื่น ฉะนั้น การเพิ่มอัตราการเกิดเสียงคลิก ก็เป็นการเหมาะสมสำหรับการตรวจแบบคัดกรอง Alberti และคณะจึงเสนอการใช้อัตราการเกิดเสียงคลิก 40 คลิกต่อวินาที จำนวน 4000 คลิก และสนับสนุนการใช้ความดัง 40 dBnHL เป็นเกณฑ์การตัดสินใจ ถ้าเด็กคนใดที่ไม่ตอบสนองต่อเสียงที่ความดัง 40 dBnHL ก็จะต้องตรวจเพิ่มขึ้น โดยตรวจที่ระดับความดังสูง และลดอัตราการเกิดเสียงคลิกต่ำลง เพื่อพิจารณาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น และต้องนัดเด็กมาเพื่อตรวจซ้ำเมื่อเด็กมีอายุ 4 เดือน

สำหรับขั้นตอนการตรวจ ควรพิจารณาค่าระดับการได้ยินก่อน ถ้าไม่ผ่านจึงพิจารณาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นร่วมด้วย เพราะถ้าตรวจทั้ง 2 อย่าง จะใช้เวลาในการตรวจประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที

Shimizu และคณะ (4) ศึกษาผลการตรวจการได้ยินแบบคัดกรอง โดยเปรียบเทียบการใช้ ABR กับ Crib-O-Gram โดยใช้เด็กอายุครรภ์ (นับรวมกับอายุหลังคลอด) 31-48 สัปดาห์ จำนวน 94 คน ช่วงความถี่ 100-3000 Hz อัตราการเกิดเสียงคลิก 22 คลิกต่อวินาที โดยใช้ความดัง 30 และ 70 dBnHL จากผลการทดสอบด้วย ABR พบว่าการใช้ความดัง 30 dBnHL จะมี False positive (เป็นเด็กปกติ แต่ผลการตรวจออกมาว่าผิดปกติ) มาก Shimizu และคณะ จึงเสนอว่า ควรใช้ระดับความดัง 40 dBnHL เป็นเกณฑ์ตัดสินจะมีความเหมาะสมมากกว่า

ปี ค.ศ.1994 Weber และ Jacobson (20) ได้เสนอว่า ในการตัดสินระดับความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง สำหรับกลุ่มที่ไม่เสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยินควรใช้ระดับความดัง 35 dBnHL เป็นเกณฑ์ ในขณะที่ ASHA Committee on Infant Hearing 1989 ได้เสนอให้ใช้ระดับความดัง 40 dBnHL เป็นเกณฑ์ เพราะว่าการใช้ระดับความดัง 35 dBnHL เป็นเกณฑ์ จะทำให้มีเด็กที่ไม่ผ่านเกณฑ์เพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งจะให้ผลเป็น False-Positive แต่ถ้าในกรณีที่เด็กจำเป็นต้องตรวจซ้ำ แต่คาดว่าเด็กอาจจะไม่กลับมารับการตรวจซ้ำอีก อาจเพิ่มวิธีการตรวจโดยพิจารณาจากระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ระดับความดัง 45 dBnHL ร่วมด้วย ส่วนใหญ่จะใช้คลื่นที่ III หรือคลื่นที่ V ในการพิจารณา ซึ่งผลที่ปกตินั้นควรจะอยู่ในค่าที่แต่ละคลินิก กำหนด ตามอายุครรภ์ของเด็ก (20, 57)

ปัจจัยเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน (The risk for sensorineural hearing impairment) ในเด็กแรกเกิด ตามที่ The Joint Committee on Infant Hearing (JCIH) ปี ค.ศ.1994 กำหนดไว้ (8) ประกอบด้วยดังต่อไปนี้

1. บิดามารดา มีประวัติ เป็นประสาทหูพิการ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงอายุต่ำกว่า 7 ปี
2. ครอบครัวมีประวัติ เป็นประสาทหูพิการ ซึ่งเกิดขึ้นในวัยเด็ก
3. ครอบครัวมีประวัติ เป็น Waardenburg's syndrome
4. ขณะมารดาตั้งครรภ์ เสพยาเสพติด และเครื่องสำอางประเภท แอลกอฮอล์
5. รูปร่างของศีรษะ และคอ มีความผิดปกติ
6. มารดาขณะตั้งครรภ์ มีประวัติติดเชื้อ ดังต่อไปนี้ Cytomegalovirus, หัดเยอรมัน, เริม, ซิฟิลิส, Toxoplasmosis, และ ภูมิคุ้มกันบกพร่อง
7. น้ำหนักแรกเกิดต่ำกว่า 1500 กรัม
8. เมื่อแรกเกิดเด็ก มีภาวะ Asphyxia

9. มีภาวะบิลิรูบินในเลือดสูงเกิน 20 mg per dL หรือมีประวัติการถ่ายเลือด
10. Bacterial Meningitis
11. เด็กติดเชื้หัด หรือ คางทูม
12. ได้รับพิษจากการใช้ยา
13. บาดเจ็บที่ศีรษะ



บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลที่ คลินิกโสตสัมผัสและการพูด โรงพยาบาลรามาริบัติ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กแรกเกิด ที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน ที่อยู่ในห้องเด็กอ่อนตึกสูติกรรม 1 ชั้น 6 โรงพยาบาลรามาริบัติ กลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดสอบด้วยเครื่อง ABR ได้รับความยินยอมจากมารดา และได้รับการตรวจร่างกายจากกุมารแพทย์แล้ว ว่าเป็นเด็กที่มีสุขภาพสมบูรณ์ และได้รับอนุญาตจากภาควิชากุมารเวชศาสตร์ และหัวหน้าพยาบาลประจำห้องเด็กอ่อน ให้นำเด็กออกนอกบริเวณเพื่อมาตรวจที่คลินิกโสตสัมผัสและการพูดได้ การเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างไ้ระยะเวลา 5 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2539 ถึง พฤษภาคม พ.ศ.2539 โดยเก็บข้อมูลเฉพาะวันอังคาร และวันพฤหัสบดี ช่วงเวลา 8.30 - 14.00 นาฬิกา เนื่องจากเป็นวันที่สามารถใช้เครื่องมือทดสอบได้สะดวก และเป็นเวลาที่ห้องเด็กอ่อนอนุญาตให้นำเด็กออกมาได้

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ ได้มาจากการคัดเลือกโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบ Simple random sampling โดยการจับสลากสุ่มเด็กในแต่ละวัน วันละ 3 คน กลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กคลอดปกติ อายุครรภ์ครบกำหนด ได้รับการตรวจร่างกายจากกุมารแพทย์แล้วว่าเป็นเด็กที่มีสุขภาพสมบูรณ์ และความสัมพันธ์ของอายุครรภ์กับน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ตามตาราง Classification of Newborns Based on Maturity and Intrauterine Growth ของ Lubehenco LO และคณะ (78); Battaglia FC และ Lubehenco LO (79) กลุ่มตัวอย่างมีจำนวนทั้งหมด 44 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย 22 คน และเพศหญิง 22 คน

คุณสมบัติของกลุ่มตัวอย่าง

เป็นเด็กที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน เกณฑ์การคัดเลือกประกอบด้วย

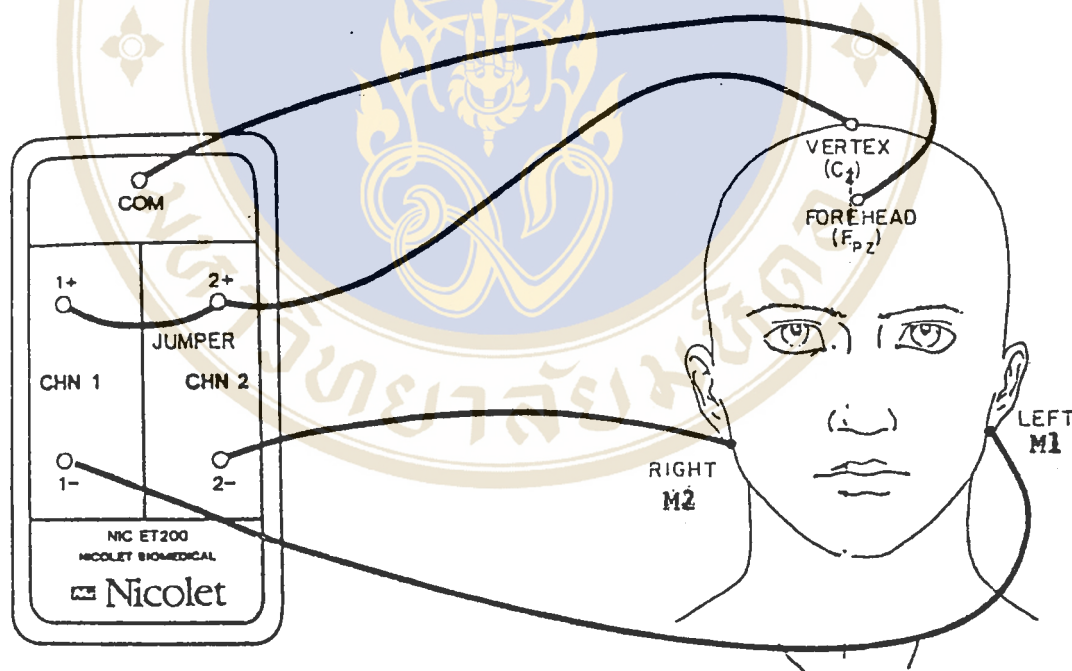
1. เป็นเด็กคลอดครบกำหนด อายุครรภ์ 37-42 สัปดาห์
2. เป็นเด็กที่คลอดปกติ
3. เป็นเด็กที่มีอายุระหว่าง 1-3 วัน
4. เป็นเด็กที่เกิดเดี่ยว
5. น้ำหนักเด็กสัมพันธ์กับอายุครรภ์ 2800-3600 กรัม
6. การประเมิน Apgar score ใน 1 นาทีแรก มากกว่า หรือเท่ากับ 7 นาทีที่ 5 มากกว่า หรือเท่ากับ 8
7. รูปร่างและขนาดของศีรษะ, ใบหน้า, หูและคอ เป็นปกติ
8. เป็นเด็กที่ไม่มีภาวะเจ็บป่วยใด ๆ ไม่ได้รับยาปฏิชีวนะ อัตราการหายใจไม่เกิน 60 ครั้งต่อนาที
9. ค่าบิลิรูบินในเลือด ไม่เกิน 20 mg per dL
10. ขณะมารดาตั้งครรภ์ ไม่มีประวัติการเจ็บป่วยด้วยโรคหัดเยอรมัน, ซิฟิลิส และภูมิคุ้มกันบกพร่อง
11. มารดาไม่มีโรคประจำตัวดังต่อไปนี้ เบาหวาน, ความดันโลหิตสูง และ ต่อมไทรอยด์ ทำงานผิดปกติ
12. บิดามารดา และญาติพี่น้อง ไม่มีประวัติหูพิการแต่กำเนิด

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง Auditory Brainstem Response ชื่อ Nicolet รุ่น Compact Auditory Version J.1 ชนิดมี 2 channels
2. Electrode cup ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร
3. ที่ครอบหูรุ่น TDH 39 P MX 41/AR Cushion ชื่อ Telephonics
4. ฟองน้ำขนาด 3 x 6 นิ้ว
5. ห้องเงียบมีเสียงรบกวน (Ambient noise) ระดับ 44 - 47 dBA

การกำหนดวิธีการทดสอบ

- เสียงที่ใช้กระตุ้นเป็นเสียงคลิก (click), Rarefaction polarity, ระยะเวลาการเกิดเสียงคลิก (duration) เท่ากับ 100 ไมโครวินาที อัตราการเกิดเสียงคลิก เท่ากับ 11.4 คลิกต่อวินาที จำนวนเสียงคลิก 2000 คลิก ช่วงความถี่ (Bandpass filter) เท่ากับ 150-3000 Hz หน้าจอภาพแสดงระยะเวลา (Average time window) เท่ากับ 15 มิลลิวินาที กำลังขยายภาพเท่ากับ 0.15 ไมโครโวลท์
- ตำแหน่งการวาง electrode ตามวิธีของคลินิกโสตสัมผัสและการพูด โดยติดไว้ 4 ตำแหน่ง คือ หน้าผาก (Fz) เป็น Common electrode กลางศีรษะ (Vertex, Cz) เป็น Noninverting electrode และบริเวณกระดูกมาสตอยด์ทั้ง 2 ข้าง (M1, M2) เป็น Inverting electrode



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งที่วาง Electrode และการต่อของสาย Electrode ที่เชื่อมต่อกับ Headbox ของเครื่อง ABR ยี่ห้อ Nicolet

- การบันทึกผลการตอบสนอง บันทึกจากหูด้านเดียวกับที่ใช้เสียงกระตุ้น (Ipsilateral recording)

- ผลการตอบสนองที่แสดงหน้าจอภาพเป็นคลื่นการได้ยิน (Waveform) นำมาบันทึกลงบนกระดาษ โดยเครื่องพิมพ์ผลเพื่อเป็นการเก็บข้อมูลไว้

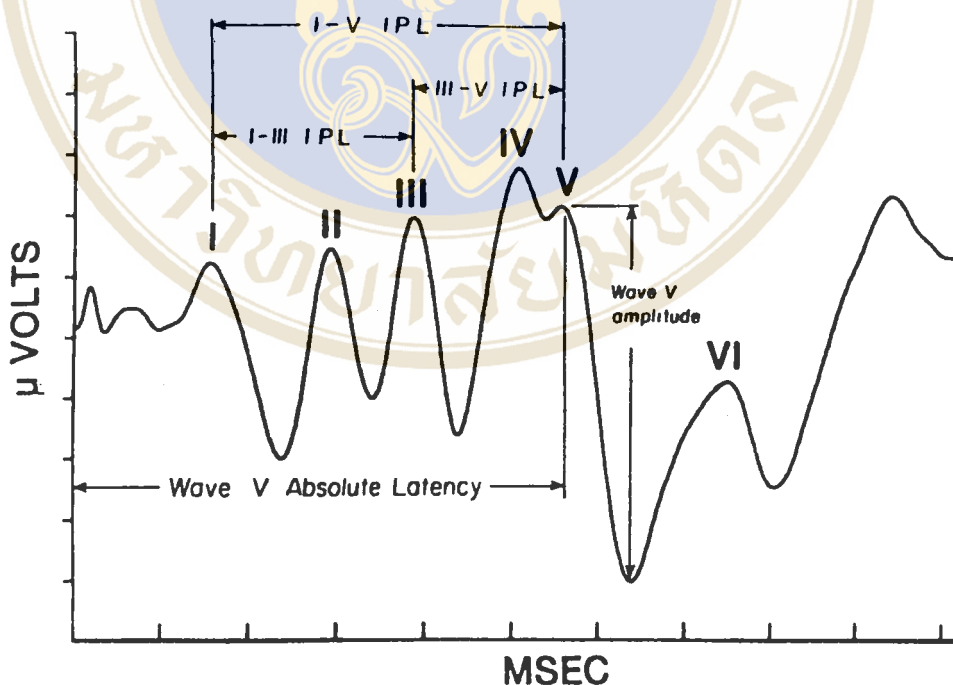
ขั้นตอนการทดสอบ

1. เด็กได้รับการตรวจช่องหู โดยใช้ Otoscope จาก โสต ศอ นาสิกแพทย์
2. ทดสอบในขณะที่เด็กหลับเองตามธรรมชาติ โดยให้เด็กได้ดูคนก่อนทำการทดสอบ
3. ห่อตัวเด็กเพื่อกันไม่ให้เด็กเคลื่อนไหว
4. ทำความสะอาดผิวหนังบริเวณที่จะติด Electrode ด้วยแอลกอฮอล์ 70% ใช้ Electrode paste ทาบน Electrode cup เพื่อให้ Electrode cup ติดกับผิวหนังได้ดี และทา Electrode gel เพื่อให้สามารถนำพลังงานไฟฟ้าได้ดี ติด Electrode cup ตาม ตำแหน่งที่กำหนด คือ Cz, Fz, M1, M2
5. ครอบหูทั้ง 2 ข้าง ด้วยที่ครอบหู โดยใช้แผ่นฟองน้ำช่วยประคอง เพื่อให้ที่ครอบหูกระชับในขณะที่ทำการทดสอบ
6. ทำการสุ่มหู 1 ข้าง ที่จะทำการทดสอบด้วย ABR
7. กำหนดเสียงคลิกกระตุ้น โดยเริ่มที่ระดับความดัง 80 dBnHL และลดความดังลง มาขึ้นละ 20 dBnHL จนถึงระดับความดัง 40 dBnHL จากนั้นลดระดับความดัง ขึ้นละ 5-10 dB เพื่อหาค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยิน ระดับกานสมอง (ABR threshold) จนถึงระดับความดังที่ไม่มีปฏิกิริยาตอบสนอง
8. อ่านค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL และพิจารณารูปร่างของคลื่น
9. ที่ระดับความดังต่ำสุดที่เห็นการตอบสนองของคลื่นที่ V ทำซ้ำ 2 ครั้ง ถ้าปรากฏคลื่นที่ V อย่างคงที่ ให้พิจารณาเป็นค่า ABR threshold และบันทึกผลการตอบสนองที่ระดับความดัง 0 dBnHL เพื่อแสดง Electrophysiologic activity สำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาว่า มีหรือไม่มีปฏิกิริยาการตอบสนอง
10. เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ ABR ในหูข้างหนึ่งแล้ว จึงทำการทดสอบที่หูอีกข้างหนึ่ง ด้วยวิธีการเดียวกัน
11. การอ่านค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ค่า ABR threshold และการพิจารณารูปร่างของคลื่น ใช้ผู้พิจารณา 3 คน คืออาจารย์ที่ปรึกษา 2 ท่าน และผู้วิจัย โดยใช้เกณฑ์ตัดสินคือ ต้องได้ผลตรงกันสองในสาม

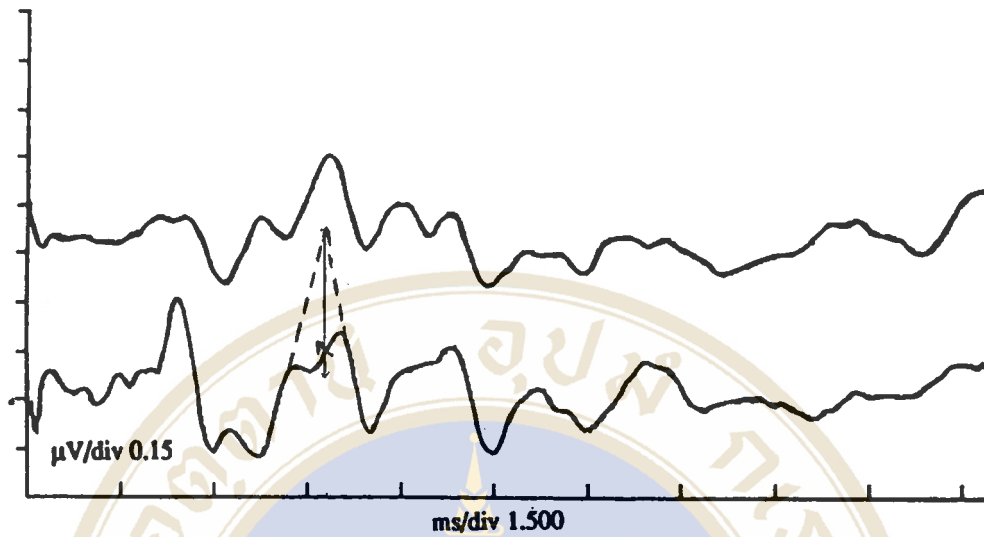
วิธีการวัดปฏิกิริยาการตอบสนอง

1. ค่ำระยะเวลาการเกิดคลื่น หมายถึง ค่ำระยะเวลาดังแต่เริ่มเสียงกระตุ้นไปจนถึงจุดยอดของแต่ละคลื่น มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที การกำหนดค่ำระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL และที่ ABR threshold ถ้าคลื่นใดมีลักษณะเป็น Multi component เช่นมียอดเป็น 2 แฉก (Bifid) ผู้วิจัยจะทำการวัด โดยลากเส้นต่อจากตำแหน่งที่ Slope ของคลื่นทั้ง 2 ข้าง ขึ้นไปตัดกัน (มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม) และลากเส้นตรงลงมาตัดกันกับคลื่นปฏิกิริยาการตอบสนอง และกำหนดให้จุดตรงกลางนั้น เป็นค่ำระยะเวลาการเกิดคลื่น (74)

2. ค่ำระยะเวลาระหว่างคลื่น หมายถึง ค่ำระยะเวลาระหว่างคลื่น I-III, III-V และ I-V ค่ำที่ได้นั้นคำนวณได้จากค่ำระยะเวลาการเกิดคลื่น ของคลื่นที่สัมพันธ์กัน มีหน่วยเป็น มิลลิวินาที



รูปที่ 5 แสดงวิธีการหาค่ำระยะเวลาการเกิดคลื่น และระยะเวลาระหว่างคลื่น และค่า Amplitude (จาก Jacobson J.T. "Principle and application in Auditory Evoked Potential" หน้า 125) (74)



รูปที่ 6 แสดงการหาตำแหน่งของยอดคลื่น เมื่อยอดคลื่นมีลักษณะประกอบด้วย
มากกว่า 1 ยอด

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้นำไปประมวลผลด้วย Computer โปรแกรม SPSS สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

1. ค่ามัธยฐานเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้ในการเสนอค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ระยะเวลาระหว่างเกิดคลื่น และค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อเสียง
2. ร้อยละในการวิเคราะห์จำนวนคลื่น
3. Mann-Whitney U- Wilcoxon Rank Sum W Test เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของระยะเวลาการเกิดคลื่น และระยะเวลาระหว่างคลื่น ระหว่างเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง
4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อเปรียบเทียบตัวแปรทางด้านเพศ และระดับความดัง
5. Least Significant Difference Method (LSD) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยภายหลังการทดสอบความแปรปรวน

บทที่ 4

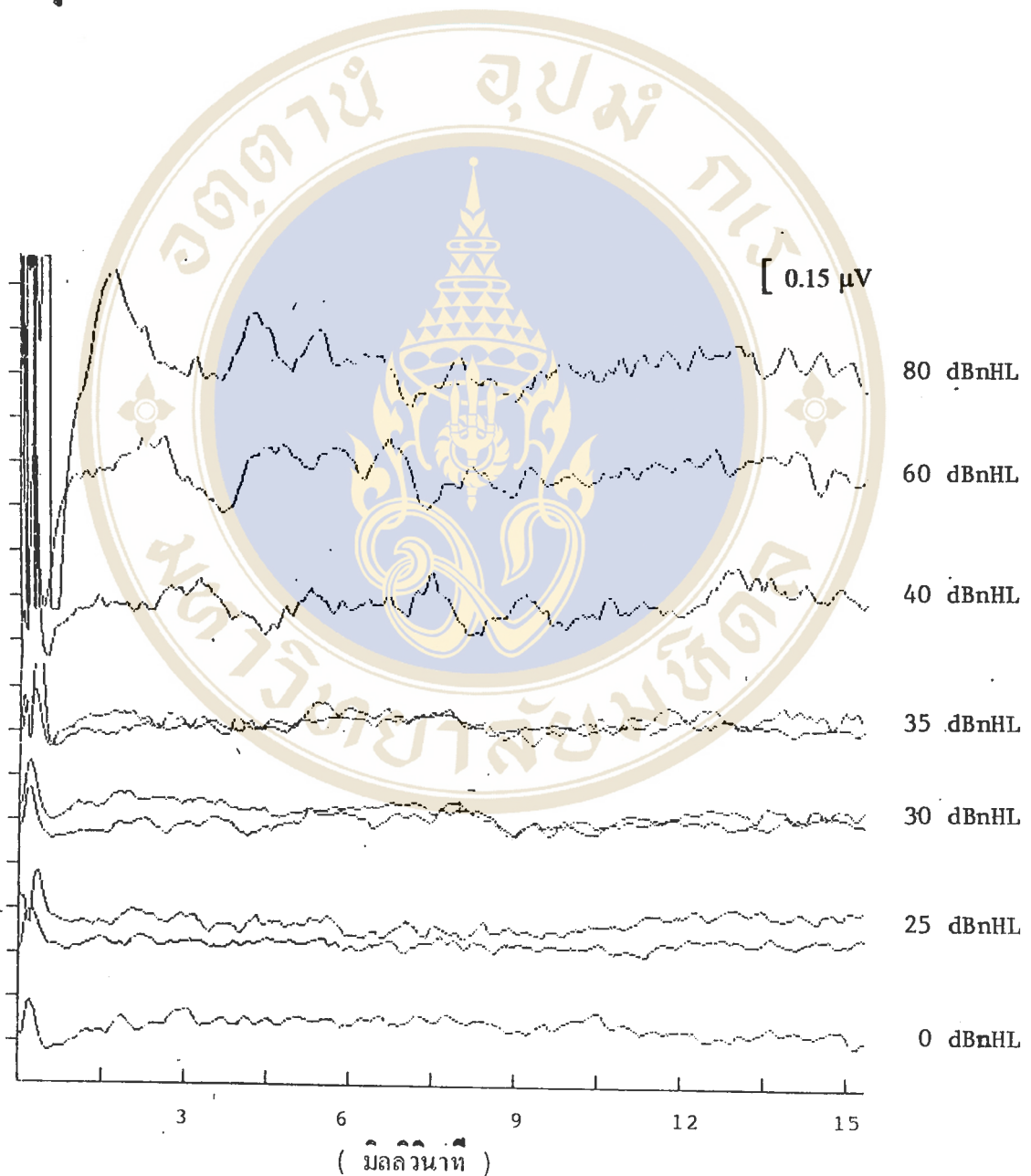
ผลการศึกษา

การศึกษาค่าปกติ ของผลการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด ที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน โดยศึกษาในเด็กที่มีสุขภาพสมบูรณ์ จำนวน 44 คน แบ่งเป็น เด็กเพศชาย จำนวน 22 คน และเด็กเพศหญิง จำนวน 22 คน เป็นเด็กที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด อยู่ในช่วง 38-41 สัปดาห์ เฉลี่ยเท่ากับ 38.75 สัปดาห์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.78 อายุของเด็กอยู่ในช่วง 1-3 วัน เฉลี่ยเท่ากับ 1.70 วัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.79 น้ำหนักอยู่ในช่วง 2850-3500 กรัม เฉลี่ยเท่ากับ 3220 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 192.48 ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองชื่อ Nicolet รุ่น Compact Auditory Version J.1 ใช้เสียง "คลิก"(click) เป็นเสียงกระตุ้น อัตราการเกิดเสียงคลิก เท่ากับ 11.4 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 150- 3,000 Hz หน้าจอภาพแสดงค่าระยะเวลาเท่ากับ 15 มิลลิวินาที กำลังขยายภาพเท่ากับ 0.15 ไมโครโวลต์ ระดับเสียงรบกวนภายในห้องเท่ากับ 44 - 47 dBA ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบแสดงในภาคผนวก

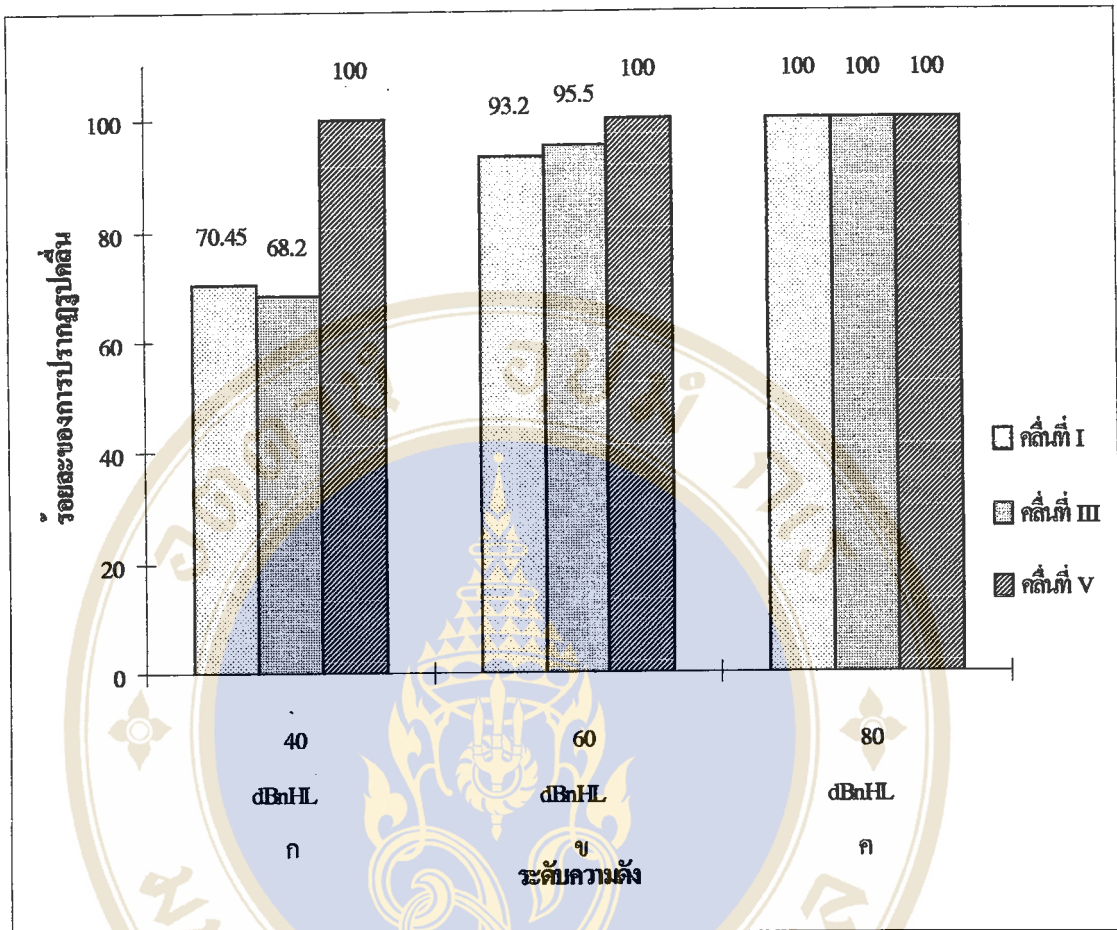
จากการศึกษาได้ผลดังนี้

1. ลักษณะรูปร่างของคลื่นการได้ยิน (Waveform Morphology)

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เสียงคลิกกระตุ้น โดยใช้ความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL และที่ระดับความดังต่ำสุดที่เห็นคลื่นที่ V (ABR threshold) มีลักษณะการตอบสนองดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงลักษณะรูปร่างของคลื่นการได้ยินในเด็กแรกเกิด



- ก. การปรากฏของคลิ่นที่ I, III และ V ที่ระดับความดัง 40 dBnHL
 ข. การปรากฏของคลิ่นที่ I, III และ V ที่ระดับความดัง 60 dBnHL
 ค. การปรากฏของคลิ่นที่ I, III และ V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL

รูปที่ 8 แสดงร้อยละของการปรากฏคลิ่น I, III และ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 44 คน

ผลการปรากฏของคลิ่น ดังแสดงในรูปที่ 8 ที่ระดับความดัง 80 dBnHL การปรากฏของคลิ่นที่ I, III และคลิ่นที่ V พบในเด็กแรกเกิดทุกคน และเมื่อลดระดับความดัง การปรากฏของคลิ่นที่ I และคลิ่นที่ III มีจำนวนลดลง โดยที่ระดับความดัง 60 dBnHL พบคลิ่นที่ I และคลิ่นที่ III จำนวนร้อยละ 93.20 และ 95.50 ที่ระดับความดัง 40 dBnHL พบคลิ่นที่ I และคลิ่นที่ III จำนวนร้อยละ 70.45 และ 68.20 แต่คลิ่นที่ V มีจำนวนคลิ่นคงเดิม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับความดังจาก 80 - 40 dBnHL

2. ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง หรือ ค่าระดับความดังต่ำสุดที่เกิดคลื่นที่ V (ABR Threshold)

ผลการศึกษาในเด็กแรกเกิดจำนวน 44 คน พบว่า ค่าระดับความดังต่ำสุดที่เกิดคลื่นที่ V มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.86 dBnHL ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.43 และแสดงค่าร้อยละไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการร้อยละของค่าระดับความดังต่ำสุดที่เกิดคลื่นที่ V ในเด็กแรกเกิด

ค่าระดับความดังต่ำสุดที่เกิดคลื่นที่ V (dBnHL)	จำนวน	ร้อยละ
25	4	9.10
30	11	25.00
35	20	45.45
40	9	20.45
รวม	44	100.00

จากตารางที่ 6 พบว่าเด็กแรกเกิดส่วนใหญ่ มีระดับการได้ยินอยู่ที่ระดับความดัง 35 dBnHL รองลงมาคือที่ระดับความดัง 30 dBnHL และมีเด็กแรกเกิดเพียงจำนวนเล็กน้อยที่มีระดับการได้ยินอยู่ที่ระดับความดัง 25 dBnHL

3. การศึกษาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ที่ I, III และ V ที่ระดับความดัง 80,60 และ 40dBnHL ในเด็กแรกเกิด

ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระยะเวลาการเกิดที่ I,III และ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด

คลื่นที่	ความดัง (dBnHL)	ระยะเวลาการเกิดคลื่น (มิลลิวินาที)		จำนวน
		ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
I	80	1.86	0.21	44
	60	2.47	0.28	41
	40	3.33	0.32	31
III	80	4.59	0.26	44
	60	5.22	0.31	42
	40	5.88	0.42	30
V	80	6.99	0.34	44
	60	7.53	0.45	44
	40	8.32	0.43	44

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อลดระดับความดัง คลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V จะมีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้น

4. การศึกษาค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V, I-V ที่ระดับ ความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด

ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กแรกเกิด

คลื่นที่	ความดัง (dBnHL)	ระยะเวลาระหว่างคลื่น (มิลลิวินาที)		จำนวน
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
I - III	80	2.72	0.25	44
	60	2.75	0.32	41
	40	2.54	0.40	27
III - V	80	2.41	0.26	44
	60	2.29	0.37	41
	40	2.38	0.50	30
I - V	80	5.12	0.32	44
	60	5.04	0.46	41
	40	4.88	0.43	31

จากตารางที่ 8 แสดงให้เห็นว่าที่ทุกระดับความดัง ค่าเฉลี่ยระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III ยาวกว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ III-V และเมื่อลดระดับความดัง ค่าเฉลี่ยระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

5. ศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง

การศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง โดยใช้การวิเคราะห์ด้วย Mann-Whitney U-Wilcoxon Rank Sum W Test ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ที่ I, III และ V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง

คลื่นที่	เพศ	จำนวน	Mean Rank	P-value
I	ชาย	22	24.52	0.15
	หญิง	22	20.48	
III	ชาย	22	24.25	0.18
	หญิง	22	20.75	
V	ชาย	22	23.64	0.28
	หญิง	22	21.36	

จากตารางที่ 9 พบว่าเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง ที่ระดับความดัง 80 dBnHL มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P=0.15$, $P=0.18$, $P=0.28$ ตามลำดับ) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

6. ศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง

การศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง โดยใช้การวิเคราะห์ด้วย Mann-Whitney U-Wilcoxon Rank Sum W Test ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น
ที่ I-III, III-V, I-V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง

คลื่นที่	เพศ	จำนวน	Mean Rank	P-value
I-III	ชาย	22	23.73	0.26
	หญิง	22	21.27	
III-V	ชาย	22	22.39	0.48
	หญิง	22	22.61	
I-V	ชาย	22	23.75	0.26
	หญิง	22	21.25	

จากตารางที่ 10 พบว่าเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง ที่ระดับความดัง 80 dBnHL มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P=0.26$, $P=0.48$, $P=0.26$ ตามลำดับ) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

7. ศึกษาระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็ก เพศชาย และเด็กเพศหญิง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V กับระดับความดังที่ 80, 60 และ 40 dBnHL ระหว่างเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 11 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง

เพศ	จำนวน	ระดับความดัง (dBnHL)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิวินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชาย	22	80	7.01	0.25
		60	7.48	0.38
		40	8.39	0.42
หญิง	22	80	6.97	0.41
		60	7.58	0.52
		40	8.25	0.43

จากตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อลดระดับความดัง ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V

แหล่งความแปรปรวน	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F-value	P-value
ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ในเด็กเพศชาย,เด็กเพศหญิง	0.021	1	0.021	0.124	0.726
ระดับความดัง	39.527	2	19.764	118.364	0.000*
เพศ x ระดับความดัง	0.314	2	0.157	0.939	0.394
รวม	60.900	131	0.465		

7.1 การเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ของเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง

ตารางที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง

เพศ	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (มิลลิวินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชาย	22	7.62	0.68
หญิง	22	7.60	0.70

จากตารางที่ 13 พบว่าในกลุ่มเด็กเพศชาย มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ใกล้เคียงกับกลุ่มเด็กเพศหญิง เมื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในตารางที่ 12 (หน้า 59) พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P=0.726$) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

7.2 การเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL

ตารางที่ 14 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL

ระดับความดัง (dBnHL)	จำนวน	ค่าเฉลี่ย (มิลลิวินาที)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
80	44	6.99	0.34
60	44	7.53	0.45
40	44	8.32	0.43

จากตารางที่ 14 แสดงให้เห็นว่า เมื่อลดระดับความดัง ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL มาเปรียบเทียบโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ปรากฏผล ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL

แหล่งความแปรปรวน	D.F.	SS	MS	F	P-value
ระหว่างระดับความดัง	2	39.528	19.764	119.287	0.000*
ภายในความดังแต่ละระดับ	129	21.373	.166		
รวมทั้งหมด	131	60.901			

จากการเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL พบว่าระดับความดังมีผลทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P=0.000$) ซึ่งแสดงว่าความดังที่ระดับใดระดับหนึ่งมีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ปรากฏผล ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL

ระดับความดัง (dBnHL)	ความแตกต่างของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V		
	80	60	40
80	-	0.54*	1.33*
60		-	0.79*
40			-

* $P<0.05$

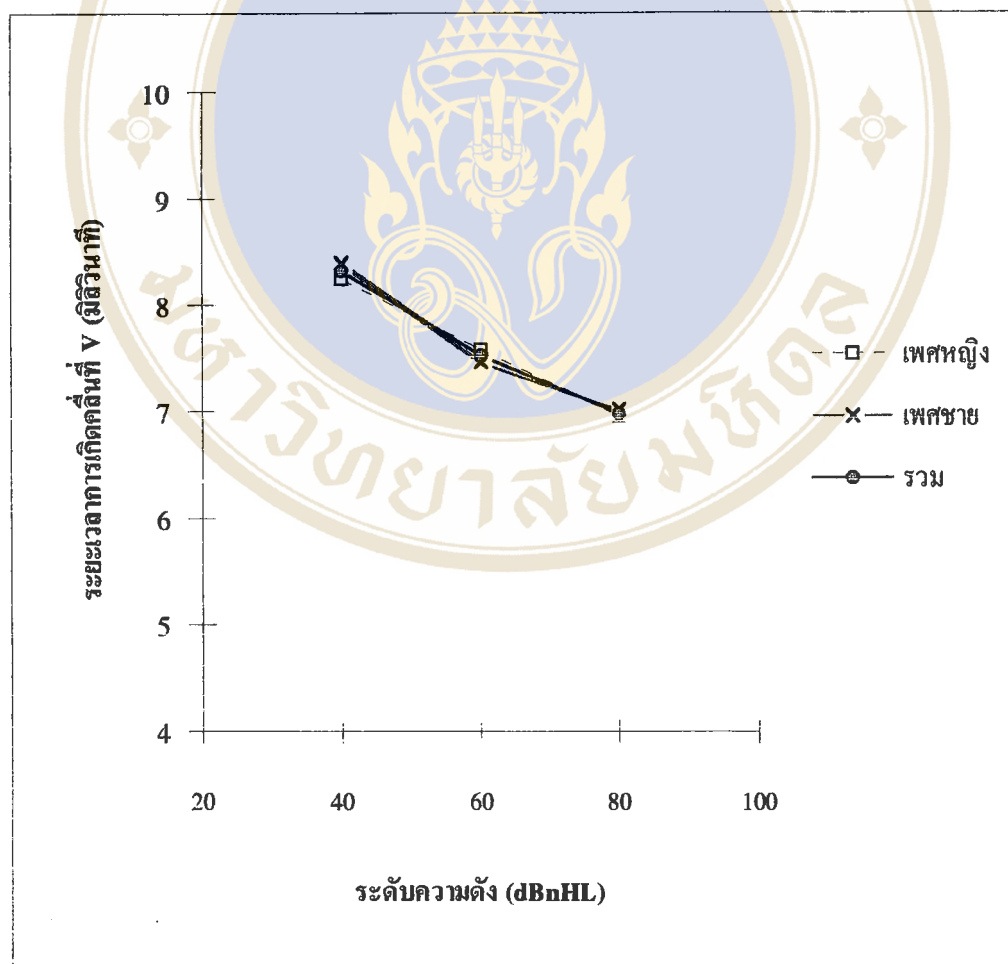
เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL พบว่า ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL แตกต่างจากค่าระยะเวลาการ

เกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 60 และ 40 dBnHL อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 60 dBnHL กับ 40 dBnHL มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดังกับระยะเวลาการเกิดคลื่น

(Latency-Intensity Function)

จากตารางที่ 11 (หน้า 59) และตารางที่ 14 (หน้า 60) ได้นำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดังกับระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ซึ่งเรียกว่า Latency-Intensity Function ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟแสดง Latency-Intensity Function เมื่อใช้เสียงคลิก



ผลการศึกษาพบว่าเมื่อลดระดับความดังของเสียงกระตุ้นจาก 80 dBnHL เป็น 60 dBnHL ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น 0.54 มิลลิวินาที หรืออัตราเพิ่มเท่ากับ 0.27 มิลลิวินาที/10 dB (ในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ v เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.47 และ 0.61 มิลลิวินาทีตามลำดับ)และเมื่อลดระดับความดังของเสียงกระตุ้นจาก 60 dBnHL เป็น 40 dBnHL ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.79 มิลลิวินาทีหรืออัตราการเพิ่มเท่ากับ 0.39 มิลลิวินาที/10 dB (ในเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง ค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.91 และ 0.67 มิลลิวินาทีตามลำดับ) จะเห็นว่าเมื่อลดระดับความดังจาก 80 dBnHL เป็น 60 dBnHL มีอัตราการเพิ่มระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V น้อยกว่าเมื่อลดระดับความดังจาก 60 dBnHL เป็น 40 dBnHL ซึ่งไม่เป็น Linearity



บทที่ 5

อภิปรายผล

ผลการศึกษาค่าปกติ ของการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิดที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน อายุระหว่าง 1-3 วัน จำนวน 44 คน สามารถนำมาอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ลักษณะรูปร่างของคลื่นการได้ยิน

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า เมื่อใช้เสียงคลิกในอัตรา 11.4 คลิกต่อวินาที ที่ระดับความดัง 80, 60, 40 dBnHL และระดับ ABR threshold จะมีลักษณะรูปร่างของคลื่นดังแสดงในรูปที่ 7 (บทที่ 4 หน้า 52) ที่ระดับความดัง 80 dBnHL จะพบคลื่นที่ I, III, V ได้ชัดเจนทุกคลื่น และเมื่อลดระดับความดังลง การปรากฏของคลื่นที่ I และคลื่นที่ III จะลดลง และจะพบว่าคลื่นที่ V เป็นคลื่นเดียวที่ปรากฏอยู่ทุกระดับความดัง

ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Goldstein และคณะ (30), Starr และคณะ (39), Jacobson และคณะ (40) และ Zubick และคณะ (44) ที่พบว่าในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ครบกำหนด เมื่อใช้ความดังสูงจะสามารถเห็นรูปร่างของคลื่นที่ I, III, V ได้อย่างชัดเจน และเมื่อลดระดับความดังจะเห็นรูปร่างของคลื่นที่ V ได้ชัดเจนกว่าคลื่นที่ I และคลื่นที่ III

การศึกษานี้ให้ผลแตกต่างจากการศึกษาของ Salamy และ Mc Kean (42) ที่พบว่าในเด็กแรกเกิดส่วนใหญ่ จะเห็นรูปร่างของคลื่นที่ I และคลื่นที่ V นั้น เป็นเพราะว่าพวกเขาได้ศึกษาลักษณะรูปร่างของคลื่น ที่ระดับความดังน้อยกว่าการศึกษานี้ และการศึกษาอื่น ๆ (30, 39, 40, 44)

ลักษณะรูปร่างของคลื่นการได้ยินในเด็กแรกเกิด ส่วนใหญ่จะพบคลื่นการตอบสนองเพียง 3 คลื่น ได้แก่ คลื่นที่ I, III และ คลื่นที่ V และเมื่อเด็กโตขึ้น คลื่นที่ II และคลื่นที่ IV จึงจะปรากฏ ทั้งนี้ เนื่องจากพัฒนาการของเด็กมีความสัมพันธ์กับอายุ กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระและโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนนอก เช่น การ

เจริญเติบโตของ Neural Generator, เซลล์ประสาท, Synapse และโครงสร้างของอวัยวะรูป
ก้นหอย (64)

ดังนั้น ในการศึกษาค่าปกติ จึงควรกำหนดช่วงอายุของเด็ก เพื่อผลที่ได้จะได้มีความ
ถูกต้องยิ่งขึ้น

2. ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง

ผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการ
ทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง เมื่อใช้เสียงคลิก อัตราการเกิดเสียงคลิก 11.4 คลิกต่อวินาที
ช่วงความถี่ 150-3000 HZ มีค่าเท่ากับ 33.86 ± 4.43 dBnHL

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีรายงานผลค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อ
การทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ซึ่งได้นำมาสรุปไว้ในตารางที่ 17 (หน้า 66) และจากผล
การศึกษาในครั้งนี้ พบว่าค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้าน
สมองส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับ 30 - 35 dBnHL

จะเห็นได้ว่าค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง
ของแต่ละการศึกษามีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการหาค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อเสียงนั้น
มีองค์ประกอบหลายอย่างที่หาค่าที่ได้ต่างกัน เช่น อายุ Kaga และ Tanaka (27), Lary และ
คณะ (32), Adelman และคณะ (50) High pass filter Schwartz และ Schwartz (47), Stuart
และคณะ (51), Stuart และ Yang (76), Stapell (77) ชนิดของ Earphone Stockard และคณะ
(49), Stuart และคณะ (51)

ดังนั้นจึงควรมีค่าปกติของแต่ละคลินิกไว้ด้วย เพื่อให้การแปลผล มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

ตารางที่ 17 แสดงค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ในเด็กแรกเกิดที่ไม่เสี่ยงต่อภาวะสูญเสียการได้ยิน จากการศึกษาต่างๆ

ผู้ทำการศึกษา	อายุและขนาด กลุ่มตัวอย่าง	อัตราการเกิด เสียงคลิกต่อวินาที	ช่วงความถี่ (Hz)	จำนวนคลิก	ABR Threshold
Schulman- Galambos และ Galambos (13)	แรกเกิด- 3 วัน 220 คน	30	150-1500	1000-4000	10-20 dBHL
Adelman และ คณะ (50)	0-5 ชม. 24-30 ชม. 48-72 ชม. 125 หู	10-20	200-2000	1024	35.7 dBHL 25.5 dBHL 20.8 dBHL
Stuart และ คณะ (51)	48-72 ชม. 20 คน	57.7	30-3000	2048	3.75 dBnHL
Stuart และ คณะ (53)	0-48 ชม. 49-96 ชม. 40 คน	57.7	30-3000	2048	14.5 dBnHL 3.8 dBnHL
Yamada และ คณะ (15)	5 วัน 11 คน				10-20 dBHTL
Lary และคณะ (32)	1 วัน - ก่อนกลับบ้าน 42 คน	10.0	300-3000	1024-2048	< 30 dBHL
Kaga และ Tanaka (27)	1-18 เดือน 78 คน	10.0	-1000	2000	32 dBHL
Bunyarak- yothin (การ ศึกษาครั้งนี้)	1-3 วัน 44 คน	11.4	150-3000	2000	33.86 dBnHL

3. ระยะเวลาการเกิดคลื่น

3.1 ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ ตารางที่ 7 (หน้า 55) ที่ระดับความดัง 80 dBnHL มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V เท่ากับ 1.86, 4.59 และ 6.99 มิลลิวินาที ตามลำดับ ที่ระดับความดัง 60 dBnHL ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V เท่ากับ 2.47, 5.22 และ 7.53 มิลลิวินาที และที่ระดับความดัง 40 dBnHL ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V เท่ากับ 3.33, 5.88 และ 8.32 มิลลิวินาที ตามลำดับ

และพบว่าคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นแตกต่างกัน เนื่องจากผลการตอบสนองนั้น เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันในวิถีทางของระบบประสาทการได้ยิน (Ascending auditory pathway) กล่าวคือเซลล์ประสาทและทางเดินกระแสประสาทถูกกระตุ้นให้เกิดการตอบสนอง และการบันทึกการตอบสนองจากแหล่งกำเนิดตำแหน่งต่างกันจึงทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นของแต่ละคลื่นมีค่าแตกต่างกัน (80) จากผลการศึกษาในครั้งนี้ และจากการศึกษาอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 (หน้า 20-21) เห็นได้ว่าระยะเวลาการเกิดคลื่นของแต่ละการศึกษามีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการศึกษาหาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นมีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ ค่าที่ได้ต่างกัน เช่น อายุ Lary และคณะ (32), Starr และคณะ (39), Zubick และคณะ (44), Adelman และคณะ (50), Stuart และคณะ (53), Duriex และ Smith (59), Schulman-Galambos และ Galambos (54), Hecox และคณะ (65), Lohmaneeratana (72) ระดับความดัง Hodgson (21), McGee (35), Stockard และคณะ (43), Zubick และคณะ (44), Duriex และ Smith (59), Gorga และคณะ (61), Hecox และคณะ (65), Lohmaneeratana (72), Rosenblum และคณะ (73) อัตราการเกิดเสียงคลิก Duriex และ Smith (59) Band pass filter Stuart และ Yang (76) Polarity Stockard และคณะ (43) ระดับความดังของเสียงรบกวนภายในห้องทดสอบ Gorga และคณะ (61) และ จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง Stuart และ Yang (76) ดังนั้นในแต่ละคลินิก จึงควรมีค่าปกติเพื่อเป็นเกณฑ์ในการวินิจฉัย

3.2 ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 8 หน้า 56) พบว่าที่ระดับความดัง 80 dBnHL มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III, III - V และ I - V เท่ากับ 2.72, 2.41 และ 5.12 มิลลิวินาที ตามลำดับ ที่ระดับความดัง 60 dBnHL มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาระหว่างคลื่นที่

I - III, III - V และ I - V เท่ากับ 2.75, 2.29 และ 5.04 มิลลิวินาที ตามลำดับ และที่ระดับความดัง 40 dBnHL มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III, III - V และ I - V เท่ากับ 2.54, 2.38 และ 4.88 มิลลิวินาที ตามลำดับ และยังพบว่าค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III มีค่ามากกว่าค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ III - V ซึ่งสอดคล้องกับหลายๆ การศึกษา Gorga และคณะ (61) ได้กล่าวว่ค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III มีค่ามากกว่าค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ III - V ลักษณะเช่นนี้เป็นรูปแบบเช่นเดียวกันกับของผู้ใหญ่

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ และผลการศึกษาอื่น ๆ ในตารางที่ 4 (หน้า 24) จะเห็นได้ว่าค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น ของแต่ละการศึกษามีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะการศึกษาหาค่าระยะเวลาระหว่างคลื่น มีองค์ประกอบหลายอย่างที่ทำให้ค่าที่ได้ต่างกัน เช่น อายุ Lary และคณะ(32), Jacobson และคณะ (40), Salamy และ Mc kean (42), Gafni และคณะ (55) ระดับความดัง Morgan และคณะ (34), Starr และคณะ (39), Jacobson และคณะ (40), Stockard และคณะ (43), Zubick และคณะ (44), Schulman-Galambos และ Galambos (54), Duriex-Smith และคณะ (59), Gorga และคณะ (61), Hecox และคณะ (65), Lohmaneeratana (72) อัตราการเกิดเสียงคลิก Duriex-Smith และคณะ (59), Zimmerman และคณะ (60) Bandpass filter Stuart และ Yang (76) และ Polarity Stockard และคณะ (43) , Stockard และคณะ (49)

4. ระยะเวลาการเกิดคลื่นระหว่างเด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง

ความแตกต่างระหว่างเพศในเด็กแรกเกิด จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ที่ระดับความดัง 80 dBnHL ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V และค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III, III - V และ I - V ของเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย Mann-Whitney U Wilcoxon Rank W test พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Stockard และคณะ (43), Jacobson และคณะ (40), Duriex-Smith และคณะ (59) ซึ่ง Hall (16) ให้ความเห็นว่า อาจเนื่องมาจากเด็กแรกเกิดยังมีระบบประสาทที่ยังสมบูรณ์ไม่เต็มที่ จึงทำให้ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม Cox และคณะ (56) รายงานไว้ว่า ในเด็กคลอดก่อนกำหนด มีความแตกต่างกัน แต่ก็เป็นความแตกต่างที่เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากระบบประสาทที่ยังทำหน้าที่ไม่เป็นไปตามปกติ จึงทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบแตกต่างจากการศึกษาอื่นๆ สำหรับในผู้ใหญ่จะพบว่าเพศชาย มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ยาวกว่าเพศหญิง

เนื่องจากความแตกต่างกันของ ขนาดศีรษะ Stockard และคณะ (67), Gorga และคณะ (68), ฮอร์โมน Dehan และ Jerger (58) และ อุณหภูมิ Hall (16)

5. ค่ำระยะเวลากการเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL

ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิง

ผลการศึกษาในครั้งนี้ (ตารางที่ 12 หน้า 59) พบว่าที่ระดับความดังเท่ากันค่าเฉลี่ยของ ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V ในเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.726$) แต่ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เท่ากับ 6.99, 7.53 และ 8.32 มิลลิวินาที ตามลำดับ เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าระยะเวลา การเกิดคลื่นที่ V ที่ระดับ 80, 60 และ 40 dBnHL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P = 0.000$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับความดังลดลง ค่ำระยะเวลากการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาในครั้งนี้ มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Moregan และคณะ (34), Starr และคณะ (39), Jacobson และคณะ (40), Stockard และคณะ (43), Schulman - Galambos และ Galambos (51), Duriex - Smith และคณะ (59), Zimmerman และคณะ (60) Gorga และ คณะ (61), Hecox และคณะ (65) และ Lohmaneeratana (72) ซึ่งได้รายงานว่ำ เมื่อระดับความ ดังของเสียงที่ใช้กระตุ้นลดลง ค่ำระยะเวลากการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้น

การที่ระดับความดังลดลง ทำให้ค่ำระยะเวลากการเกิดคลื่นเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องมาจากว่ำ การใช้ความดังต่ำ ทำให้เวลาที่ไซในการเดินทางของ Traveling wave จากตำแหน่งฐานไปยัง ตำแหน่งยอดของอวัยวะรูปก้นหอยเพิ่มขึ้น และ ทำให้ Basilar membrane สั่นสะเทือนลดลง เป็น ผลให้ Hair cell ด้รับการกระตุ้นน้อย ปลายประสาทจึงด้รับการกระตุ้นด้วยอัตราที่น้อยลง ทำ ให้ระยะเวลาในการส่งผ่านสัญญาณของเซลล์ประสาท จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งใช้เวลา เพิ่มขึ้น

Latency - Intensity Function

ผลการศึกษาเกี่ยวกับค่ำระยะเวลากการเกิดคลื่นที่เพิ่มขึ้น เมื่อลดระดับความดังของเสียง กระตุ้น (ค่า Latency shift) พบว่า เมื่อลดระดับความดังของเสียงกระตุ้นจาก 80 dBnHL เป็น 60 dBnHL ค่ำระยะเวลากการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น 0.54 มิลลิวินาที และเมื่อลดความดังของเสียง

กระตุ้นจาก 60 dBnHL เป็น 40 dBnHL ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น 0.79 มิลลิวินาที ดังรูปที่ 9 หน้า 62 ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V กับความดัง จะเห็นได้ว่าค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ระดับความดังสูงและค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่ระดับความดังต่ำ กล่าวคือ เมื่อลดระดับความดังจาก 80 dBnHL เป็น 60 dBnHL ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่ม 0.27 มิลลิวินาที ต่อ 10 dB และเมื่อลดระดับความดังจาก 60 dBnHL เป็น 40 dBnHL ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่ม 0.40 มิลลิวินาทีต่อ 10 dB ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Picton และคณะ (80) Hall JW. (16) และ Galambos และ Hecox (19) ที่ว่า เมื่อใช้ความดังต่ำ ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงมาก และเมื่อใช้ความดังสูงค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งไม่เป็น Linearity

Jacobson และคณะ (40) ได้รายงานไว้ว่า ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.34 มิลลิวินาทีเมื่อลดความดังลง 10 dB (จากความดัง 60-30 dBnHL) Schulman-Galambos และ Galambos (54) พบว่าค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้น 0.40 มิลลิวินาทีเมื่อลดความดังลง 10 dB (จากความดัง 60-30 dB) Starr และคณะ (39) พบว่าในเด็กแรกเกิดที่มีอายุครรภ์ 25-44 สัปดาห์ เมื่อลดระดับความดังลง 20 dB (จากความดัง 65-45 dB) ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้น 0.2 - 2.0 มิลลิวินาที และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V จะเพิ่มขึ้น 0.33 มิลลิวินาทีเมื่อลดความดังลง 10 dB (จากความดัง 80-40 dBnHL) ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Jacobson และคณะ (40)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ ทำการศึกษาในเด็กคลอดครบกำหนดที่ไม่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยินอายุ 1-3 วัน จำนวน 44 คน ใช้เสียงคลิกกระตุ้นที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL อัตราการเกิดเสียงคลิกเท่ากับ 11.4 คลิกต่อวินาที ช่วงความถี่ 150 - 3000 Hz ผลที่ได้จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะรูปร่างของคลื่นการได้ยิน (Waveform Morphology) เมื่อใช้เสียงคลิกที่ ระดับความดังสูงในเด็กแรกเกิด จะเห็นการปรากฏรูปร่างของคลื่นที่ I, III และคลื่นที่ V อย่างชัดเจน
2. ค่าความไวของหูที่ตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมองในเด็กแรกเกิด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.85 dBnHL (S.D. = 4.43 , 2 S.D. = 8.86)
3. ระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL มีค่าเท่ากับ 1.86, 4.59 และ 6.99 มิลลิวินาที ตามลำดับ ที่ระดับความดัง 60 dBnHL มีค่าเท่ากับ 2.47, 5.22 และ 7.53 มิลลิวินาที ตามลำดับ และที่ระดับความดัง 40 dBnHL มีค่าเท่ากับ 3.33, 5.88 และ 8.32 มิลลิวินาที ตามลำดับ
4. ระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III, III - V และ I - V ที่ระดับความดัง 80 dBnHL มีค่าเท่ากับ 2.72, 2.41 และ 5.12 มิลลิวินาที ตามลำดับ ที่ระดับความดัง 60 dBnHL มีค่าเท่ากับ 2.75, 2.29 และ 5.04 มิลลิวินาที ตามลำดับ และที่ระดับความดัง 40 dBnHL มีค่าเท่ากับ 2.54, 2.38 และ 4.88 มิลลิวินาที ตามลำดับ
5. เด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง มีค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III และ คลื่นที่ V ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.15$, $P=0.18$, $P=0.28$ ตามลำดับ)
6. เด็กเพศชาย และเด็กเพศหญิง มีค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I-III, III-V และ I-V ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.26$, $P=0.48$, $P=0.26$ ตามลำดับ)

7. ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น เมื่อใช้เสียงคลิกที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P=0.000$) โดยค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความดังลดลง

8. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V และความดัง ไม่เป็น Linearity กล่าวคือ เมื่อใช้เสียงกระตุ้นที่ระดับความดังสูง ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อย (เมื่อลดระดับความดังของเสียงกระตุ้นจาก 80 dBnHL เป็น 60 dBnHL อัตราระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น 0.27 มิลลิวินาที /10 dB) และเมื่อใช้เสียงกระตุ้นที่ระดับความดังต่ำ ค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงมาก (เมื่อลดระดับความดังของเสียงกระตุ้นจาก 60 dBnHL เป็น 40 dBnHL อัตราระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ V เพิ่มขึ้น 0.40 มิลลิวินาที /10 dB)

การนำไปใช้ในทางปฏิบัติ

1. การหาค่าความไวของหู ที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง (ABR threshold) อาจเป็นการตรวจที่ใช้เวลานานเกินไป ดังนั้น จึงมีข้อเสนอว่าการตรวจการได้ยินแบบคัดกรอง ควรพิจารณาทั้งเกณฑ์ ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง และค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ความดังสูงด้วย เพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น
2. ในการตรวจการได้ยินแบบคัดกรอง ควรพิจารณาทั้งเกณฑ์ ค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง และค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ความดังสูงด้วย เพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น
3. มีปัจจัยหลายอย่าง ที่มีผลต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง ดังนั้น การนำข้อมูลไปใช้ ควรพิจารณาปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นด้วย

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. เมื่อทดสอบการได้ยินแบบคัดกรองด้วยเครื่องทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง สามารถใช้ระดับความดัง 40 dBnHL เป็นเกณฑ์ประเมินระดับการได้ยินในเด็กแรกเกิดได้ทั้งเด็กเพศชายและเด็กเพศหญิงทุกคนที่มีอายุ 1-3 วัน

2. ผลการศึกษาค่าระยะเวลาการเกิดคลื่น ระยะเวลาระหว่างคลื่น และรูปร่างของคลื่น สามารถนำไปเป็นเกณฑ์ช่วยพิจารณาการได้ยิน และประเมินระดับการได้ยินแบบคัดกรอง ในเด็กแรกเกิดทั้งเด็กเพศชายและเด็กหญิงทุกคนที่มี อายุ 1 - 3 วัน

3. ผลการศึกษานี้ สามารถนำไปเป็นเกณฑ์ช่วยในการประเมินการได้ยินในเด็กที่มี ภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำไปวางแผนฟื้นฟูสมรรถภาพการได้ยิน และให้คำแนะนำแก่ผู้ปกครองในการช่วยการฟื้นฟูสมรรถภาพการได้ยินของเด็ก

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป

1. ควรทำการศึกษาในเรื่องของ Latency- Intensity Function เพิ่มเติม
2. ควรมีการศึกษาค่าความไวของหูที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับ ก้านสมอง ในแต่ละกลุ่มอายุ เนื่องจาก อายุมีผลต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง โดยเฉพาะในเด็ก ซึ่งจะเป็นการช่วยประเมินระดับการได้ยินในช่วงวัยต่าง ๆ ได้มากขึ้น
3. ควรทำการศึกษาในกลุ่มเด็กที่มีภาวะเสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน ซึ่งเป็นการช่วย ค้นหาเด็กที่มีความผิดปกติ เพื่อให้ได้รับการช่วยเหลือในขั้นต่อไป
4. การศึกษาในครั้งนี้ เป็นการศึกษาผลการตอบสนองการได้ยินระดับก้านสมองโดย ใช้เสียงคลิกซึ่งตอบสนองที่ความถี่สูง การศึกษาครั้งต่อไป ควรทำการศึกษาโดยใช้ Tone Pip ความถี่ 500 และ 1,000 Hz เพื่อเป็นการประเมินว่าเด็กยังคงมีการได้ยินที่ความถี่ต่ำหลงเหลือ อยู่หรือไม่ เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยเหลือฟื้นฟูสมรรถภาพทางการได้ยิน

เอกสารอ้างอิง

1. รจนา ทรรทรานนท์. การพูดสื่อภาษา. ใน: รจนา ทรรทรานนท์ และคณะ, บรรณาธิการ. ความผิดปกติทางการพูด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์, 2529: 24-6.
2. เฉียมจิต ถวิล. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสูญเสียการได้ยิน. ใน: รจนา ทรรทรานนท์ และคณะ, บรรณาธิการ. เมื่อลูกหูพิการจะอย่างไร. กรุงเทพมหานคร: คลินิกโสต-สัมผัสและการพูด ภาควิชา โสตศอนาสิก ลาริงซ์วิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล, 2526: 25-31.
3. Alberti PW, Hyde ML, Riko K, Corbin H, Abramovich S. An Evaluation of BERA for Hearing Screening in High-Risk Neonates. *Laryngoscope* 1983; 93: 1115-21.
4. Shimizu H, Walters RJ, Kennedy DW, Allen MC, Markowitz RK, Luebker FR. Crib-O-Gram VS. Auditory Brain stem Response for Infant Hearing Screening. *Laryngoscope* 1985; 95: 806-10.
5. Yamada O, Ashikawa H, Kodera K, Yamane H. Frequency-Selective Auditory Brain-stem Response in Newborns and Infants. *Arch Otolaryngol* 1983; 109: 79-82.
6. Riko K, Hyde ML, Alberti PW. Hearing Loss in Early Infant : Incidence, Detection and Assesment. *Laryngoscope* 1985; 95: 137-45.
7. Audiological Screening of Newborn Infant Who are at riisk for hearing Impairment. *ASHA* 1989: 89-92.
8. Buttros SL, Gearhart JG, Peck JE. Early Identification and Management of Hearing Impairment. *Am Fam Physician* 1995: 1437-46.
9. Northern JL, Downs MP. *Hearing in Children*. fourth edition. Baltimore: Williams & Wilkins, 1991: 139-283.
10. รจนา ทรรทรานนท์, นิตยา คชกักดี. Hearing loss. ใน: วันดี วราวิทย์ และ สุวรรณมา เรืองกาญจนเศรษฐ์, บรรณาธิการ. *Ambulatory Pediatrics*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: พิมพ์สวย, 2532: 228-32.
11. Izen JM. Communication disorder. In: Logigian MK, Ward JD, Editors. *Pediatric Rehabilitation*. USA: 1989: 181-9.

12. Gravel JS, Marttila J, Nerbonne MA, Nozza RJ, Smedley T, Williams J, Lovrinic JH. Report on Auditory Screening. *Am J Audiol* 1995; 4: 24-37.
13. Schulman- Galambos, Galambos. Brain Stem Evoked Response Audiometry in Newborn Hearing Screening. *Arch Otolaryngol* 1979; 105: 86-90.
14. Connolly PK, Stout GG, Williams ST, Jorgensen S Smith RJ.H. Oral Habilitation of the Child With No Response on Brainstem Audiometry. *Pediatrics* 1990; 86: 217-20.
15. Alberti PW, Hyde ML, Riko K, Corbin H, Fitzhardinge PM. Issues in Early Identification of Hearing Loss. *Laryngoscope* 1985; 95: 373-81.
16. Hall JW. III. Handbook of auditory evoked responses. In: Hall JW, Editor. 1st ed. Boston: Allyn and Bacon, 1992: 86-8, 126-34, 485-96.
17. Northern JL, Gerkin KP. New Technology in Infant Hearing Screening. *Otolaryngol Clin North Am* 1989; 22: 75-86.
18. Kramer SJ, Vertes DR, Condon M. Auditory Brainstem Response and Clinical Follow-up of High-Risk Infants. *Pediatrics* 1989; 83: 385-92.
19. Galambos R, Hecox KE. Clinical Application of the Auditory Brain Stem Response. *Otolaryngol Clin North Am* 1978; 11: 709-23.
20. Weber BA, Jacobson C. Newborn hearing screening. In: Jacobson JT, Editor. Principles and applications in auditory evoked potentials. 1st ed. Boston: Allyn and Bacon, 1994: 357-83.
21. Hodgson WR. Evaluation of Infants and young children. In: Katz J, Editor. Handbook of Clinical audiology. 4th ed. Baltimore: William & Wilkins, 1994: 465-75.
22. บรรลุ สิริพานิช. แนวทางการวางแผนแห่งชาติเพื่อป้องกันหูหนวก รายงานการประชุมปฏิบัติการระดับชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2526.
23. สุจิตรา ประสานสุข และคณะ. หัดเขอร่มนกับอาการหูหนวก. *สารศิริราช* 2529; 38: 417-21.
24. กฤษณา เลิศสุขประเสริฐ. การตรวจการได้ยิน. ใน: กฤษณา เลิศสุขประเสริฐ, บรรณาธิการ. ความผิดปกติของการได้ยิน. ขอนแก่น: ขอนแก่นรัฐภัณฑ , 2532: 75-7.
25. Herrmann BS, Thornton AR, Joseph JM. Automated Infant Hearing Screening Using the ABR: Development and Validation. *Am J Audiol* 1995; 4: 6-14.

26. Warren MP. The Auditory Brainstem Response in Pediatrics. *Otolaryngol Clin North Am* 1989; 22: 75-86.
27. Kaga K, Tanaka Y. Auditory Brainstem Response and Behavioral Audiometry. *Arch Otolaryngol* 1980; 106: 564-66.
28. Anday EK, Cohen ME, Hoffman HS. Comparison of Reflex Modification Procedures and Auditory Brainstem Response in High-Risk Neonates. *Dev Med Child Neurol* 1990; 33: 130-7.
29. Starr A, Achor LJ. Auditory Brain Stem Responses in Neurological Disease. *Arch Neurol* 1975; 32: 761-8.
30. Goldstein PJ, Krumholz A, Felix JK, Shannon D, Carr RF. Brain stem- evoked response in neonates. *Am J Obstet Gynecol* 1979; 135: 622-7.
31. Downs DW. Auditory Brainstem Response Testing in the Neonatal Intensive Care Unit : A Cautious Response. *ASHA* 1982: 1009-15.
32. Lary S, Briassoulis G, Vries L, Dubowitz LM.S., Dubowitz V. Hearing threshold in preterm and term infants by auditory brainstem response. *J Pediatr* 1985; 107: 593-9.
33. Murray AD. Newborn Auditory Brainstem Evoked Responses (ABRs): Longitudinal Correlates in the First Year. *Child Dev* 1988; 59: 1542-54.
34. Morgan DE, Zimmerman MC, Dubno JR. Auditory Brain stem Evoked Response Characteristics in The Full-Term Newborn Infant. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1987; 96: 142-51.
35. McGee T, Wolters C, Stein L, Kraus N, Jhonson D, Boyer K, Mets M, Roizen N, Beckman J, Meier P, et al. Absence of sensorineural hearing loss in treated infants and children with congenital toxoplasmosis. *Otolaryngol Head Neck-surg* 1992; 106: 75-80.
36. Salamy A, Eggermont J, Eldredge L. Neurodevelopment and Auditory function in preterm infants. In: Jacobson JT, Editor. Principles and applications in auditory evoked potentials. 1st ed. Boston: Allyn and Bacon, 1994: 287-312.
37. Bench RT, Metz DL. On the measurement of fetal auditory responses. In: Bench RT, et al Editors. Sound reception in mammals. Newyork: Academic Press, 1974:11-22.

38. Birnholz JC, Benacerraf BR. The Development of Human Fetal Hearing. *Science* 1983; 222: 516-8.
39. Starr A, Amlie RN, Martin WH, Sanders S. Development of Auditory Function in Newborns Infants Revealed by Auditory Brain Stem Potentials. *Pediatrics* 1977; 60: 831-9.
40. Jacobson JT, Morehouse CR, Johnson MJ. Strategies for Infant Auditory Brain Stem Response Assessment. *Ear Hear* 1982; 3: 263-70.
41. Hecox K, Jacobson J. Auditory evoked potential. In: Northern J, Boston MA Editors Hearing disorders. Little, Brown and Company
42. Salamy A, McKean CM. Postnatal Development of Human Brainstem Potentials During the first year of life. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1976; 40: 418-26.
43. Stockard JE, Stockard JJ, Westmoreland BF, Corfit JL. Brainstem Auditory-Evoked Responses; Normal Variation as a Function of Stimulus and Subject Characteristics. *Arch Neurol* 1979; 36: 823-31.
44. Zubick HH, Fried MP, Feudo P, Epstein MF, Strome M. Normal Neonatal Brainstem Auditory Evoked Potentials. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1982; 91: 485-8.
45. Jacobson JT, Hall JW.III. Newborn and Infant Auditory Brainstem Response application. In: Jacobson JT, Editor. Principles and applications in auditory evoked potentials. 1st ed. Boston: Allyn and Bacon,1994: 313-44.
46. Hyde ML, Matsumoto N, Alberti PW. The Normative Basis for Click and Frequency-specific BERA in High-risk Infants. *Acta Otolaryngol (Stockh)* 1987; 103: 602-11.
47. Schwartz DM, Schwartz JA. Auditory evoked potentials in clinical pediatrics. In: Rintelmann WF, Editor. Hearing Assessment. 2nd ed. Austin(TX): PRO-ED, 1991: 429-76.
48. Hood LJ, Berlin CI. Clinical Application of the ABR in Neurological testing. In: Halpern H, Editor. Auditory Evoked Potentials. 1st ed. Austin(TX): PRO-ED 1986: 30-5.

49. Stockard JE, Stockard JJ, Coen RW. Auditory Brain Stem Response Variability in Infants. *Ear Hear* 1983; 4: 11-23.
50. Adelman C, Levi H, Linder N, Sohmer H. Neonatal Auditory Brain-stem Response Threshold and Latency: 1 hour to 5 months. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1990; 77: 77-80.
51. Stuart A, Edward Y, Stenstrom R, Reindorp AG. Auditory Brainstem Response thresholds to air and bone conducted clicks in Neonates and Adults. *Am J Otol* 1993; 14: 176-82.
52. Galambos R., Wilson MJ. Newborn Hearing Thresholds Measured by Both Insert and Earphone Methods. *J Am Acad Audiol* 1994; 5: 141-5.
53. Stuart A, Yang EY, Green WB. Neonatal Auditory Brainstem Response Thresholds To Air- and Bone- Conducted Clicks: 0 to 96 Hours Postpartum. *J Am Acad Audiol* 1994; 5: 163-72.
54. Schulman- Galambos C, Galambos R. Brain Stem Auditory- Evoked response in premature infants. *JSHR* 1975; 18: 456-65.
55. Gafni M, Sohmer H, Gross S, Weizman Z, Robinson MJ.et al. Analysis of Auditory Nerve- Brainstem Response (ABR) In Neonates and Very Young Infants. *Arch Oto Rhino Laryngol* 1980; 229: 167-74.
56. Cox C, Hack M, Metz D. Brainstem- Evoked Response Audiometry: Normative Data from the Preterm Infant. *Audiology* 1981; 20: 53-64.
57. Weber BA. Comparison of Auditory Brain Stem Response Latency Norms for Premature Infants. *Ear Hear* 1982; 3: 257-62.
58. Rubinstein A, Sohmer H. Latency of Auditory nerve response in Neonates one to eight hours old. *Ann Otol* 1982; 91: 205-8.
59. Duriex- Smith A, Edwards CG, Picton TW, McMurray B. Auditory brainstem response to clicks in neonates. *J Otolaryngol* 1985; 14: 12-8.
60. Zimmerman MC, Morgan DE, Dubno JR. Auditory Brain Stem Evoked Response Characteristics in Developing Infants. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1987; 96: 291-9.

61. Gorga MP, et al. Auditory Brainstem Response From Graduates of An Intensive care nursery .Normal Patterns of Response. JSHR 1987; 30: 311-8.
62. Eggermont JJ, Salamy A. Development of ABR Parameters in a Preterm and a Term Born Population. Ear Hear 1988; 9: 283-98.
63. Fawer CL, Dbowitz LMS. Auditory brainstem response in neurological normal preterm and fullterm newborn infants. Neuropediatrics 1982; 13: 200-6.
64. Silman S, Silverman CA. Brainstem Auditory evoked Potentials. Auditory Diagnosis Principles and Applications. 1st ed. San Diego: Academic Press, 1991: 249-97.
65. Hecox K, et al. Brainstem Auditory Evoked Response in Human Infants and Adults. Arch Otolaryngol 1974; 99: 30-3.
66. Roberts JL, et al. Auditory Brainstem response in Preterm neonates Maturation and Follow-up. J Pediatr 1982; 101: 257-63.
67. Stockard JJ, Stockard JE, Sharbrough FW. Non- pathological factor influencing brainstem auditory evoked potentials. Am J EEG Technol 1978; 18: 177-209.
68. Gorga MP, et al. Auditory brainstem response from children three months to three years of age : Normal pattern of response II. JSHR 1989; 32: 281-8.
69. Dehan CP, Jerger J. Analysis of gender different in the auditory brainstem response. Laryngoscope 1990; 100: 18-24.
70. Rosenhall U, et al. Brainstem Auditory Evoked Potentials in different age groups. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1985; 62: 426-30.
71. Thivierge J, Cote R. Brain-stem auditory evoked response (BSER) : Normative study in children and adults. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1987; 497-84.
72. Lohmaneeratana U. Auditory Brainstem Response (ABR) in normal hearing children : A normative study [M.S. Thesis in Communication Disorders]. Bangkok: Faculty of Graduate Studies, Mahidol University, 1989
73. Rosenblum SM, Ruth RA, Gal JT. Brainstem auditory evoked potential monitoring during profound hypothermia and circulatory arrest. Ann Otol Rhinol Laryngol 1985; 94: 281-3.

74. Schwartz DM, Morris MD, Jacobson JT. The Normal Auditory brainstem response and its variants. In: Jacobson JT, Editor. Principles and applications in auditory evoked potentials. 1st ed. Boston: Allyn and Bacon, 1994: 123-30.
75. ราตรี สุดทรวง. เซลล์ประสาท. ใน: ราตรี สุดทรวง, บรรณาธิการ. ประสาทสรีรวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535: 18-31.
76. Stuart A, Yang EY. Effect of High- Pass Filtering on the Neonatal Auditory Brainstem Response to Air- and Bone- Conducted Clicks. JSHR 1994; 37: 475-9.
77. Stapells DR. Auditory brainstem response assesment of Infants and children. Seminar Hearing 1989; 10: 229-50.
78. Lubchenco LO, Hansman C, Boyd E. Classification of newborns- based on maturity and intrauterine growth. Pediatrics 1966: 403.
79. Battaglia FC, Lubchenco Classification of newborns- based on maturity and intrauterine growth. Journal of Pediatric 1967; 71: 159.
80. Møller AR. Neural generators of auditory evoked potentials. In: Jacobson JT, Editor. Principles and applications in auditory evoked potentials. 1st ed. Boston: Allyn and Bacon, 1994: 23-46.

ภาคผนวก

ตารางที่ 18 ข้อมูลดิบแสดง อายุ, อายุครรภ์, น้ำหนัก และค่าความไวของหู ที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง (ABR Threshold) ของเด็กเพศชาย

ลำดับที่	อายุ (วัน)	อายุครรภ์ (สัปดาห์)	น้ำหนัก (กรัม)	ABR Threshold (dBnHL)
ช. 1	1	38	3,020	35
ช. 2	1	38	2,940	25
ช. 3	2	38	2,940	35
ช. 4	2	38	3,120	35
ช. 5	2	38	3,150	35
ช. 6	2	38	3,300	35
ช. 7	3	38	3,050	40
ช. 8	3	38	3,210	35
ช. 9	3	38	3,380	35
ช. 10	1	39	3,190	25
ช. 11	1	39	3,320	35
ช. 12	1	39	3,340	40
ช. 13	1	39	3,400	35
ช. 14	1	39	3,410	30
ช. 15	1	39	3,500	35
ช. 16	1	39	3,190	35
ช. 17	2	39	3,500	35
ช. 18	3	39	3,140	30
ช. 19	1	40	2,980	40
ช. 20	3	40	2,900	40
ช. 21	3	40	3,300	30
ช. 22	1	41	3,500	35

ตารางที่ 19 ข้อมูลดิบแสดงอายุ, อายุครรภ์, น้ำหนัก และค่าความไวของหู ที่เริ่มตอบสนองต่อการทดสอบการได้ยินระดับก้านสมอง (ABR Threshold) ของเด็กเพศหญิง

ลำดับที่	อายุ (วัน)	อายุครรภ์ (สัปดาห์)	น้ำหนัก (กรัม)	ABR Threshold (dBnHL)
ญ. 1	1	38	2,850	30
ญ. 2	1	38	2,930	30
ญ. 3	1	38	3,020	35
ญ. 4	1	38	3,130	30
ญ. 5	1	38	3,150	30
ญ. 6	1	38	3,450	40
ญ. 7	1	38	3,480	30
ญ. 8	2	38	3,190	35
ญ. 9	2	38	3,340	30
ญ. 10	3	38	3,120	35
ญ. 11	1	39	3,050	40
ญ. 12	1	39	3,060	40
ญ. 13	1	39	3,100	25
ญ. 14	1	39	3,160	25
ญ. 15	2	39	2,850	30
ญ. 16	2	39	3,150	35
ญ. 17	2	39	3,430	35
ญ. 18	3	39	3,410	40
ญ. 19	3	39	3,490	35
ญ. 20	1	40	3,320	40
ญ. 21	2	40	3,300	35
ญ. 22	2	40	3,360	30

ตารางที่ 20 ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศชาย

ลำดับที่	ระยะเวลาการเกิดคลื่น (มิลลิวินาที)								
	80 dBnHL			60 dBnHL			40 dBnHL		
	I	III	V	I	III	V	I	III	V
ช. 1	1.89	4.62	7.41	-	-	7.80	-	-	8.37
ช. 2	1.86	4.91	7.02	2.40	5.31	7.26	3.21	-	8.25
ช. 3	2.04	4.47	6.93	2.73	5.55	7.62	-	-	7.89
ช. 4	1.89	4.62	7.53	2.58	5.67	8.19	-	-	9.18
ช. 5	1.86	4.77	7.32	2.40	5.34	7.74	-	-	8.22
ช. 6	1.80	4.50	6.72	2.40	5.07	7.20	3.06	-	8.01
ช. 7	1.88	5.01	6.99	2.13	4.95	7.47	-	-	8.25
ช. 8	1.71	4.68	7.08	2.37	5.16	7.11	3.09	5.79	8.22
ช. 9	2.08	4.61	7.01	3.00	5.40	7.62	-	-	8.97
ช. 10	2.07	4.95	6.87	2.80	5.34	7.68	-	5.10	8.91
ช. 11	1.77	4.86	7.47	2.40	5.01	8.28	3.54	6.00	8.52
ช. 12	2.10	4.32	6.93	2.80	5.38	7.28	-	-	8.46
ช. 13	1.80	4.44	6.87	2.22	5.55	7.11	3.30	5.97	7.68
ช. 14	1.53	4.47	6.84	2.13	5.13	7.50	2.91	5.64	8.13
ช. 15	1.88	4.35	6.75	2.43	4.74	6.96	3.39	5.97	8.40
ช. 16	1.92	4.41	6.81	2.43	5.31	7.47	3.21	6.36	8.31
ช. 17	2.25	4.92	7.26	2.67	5.01	7.38	3.63	-	8.79
ช. 18	1.71	4.74	6.87	2.19	5.16	7.17	3.12	5.82	8.01
ช. 19	1.89	4.62	6.90	2.22	5.07	7.92	-	6.42	9.06
ช. 20	1.53	4.86	7.17	-	5.31	7.71	-	-	8.91
ช. 21	1.86	4.26	6.72	2.61	5.07	6.87	3.06	5.76	7.95
ช. 22	1.68	4.29	6.66	2.10	4.98	7.11	3.36	5.70	8.04

ตารางที่ 21 ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาการเกิดคลื่นที่ I, III, V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศหญิง

ลำดับที่	ระยะเวลาการเกิดคลื่น (มิลลิวินาที)								
	80 dBnHL			60 dBnHL			40 dBnHL		
	I	III	V	I	III	V	I	III	V
ญ. 1	1.71	4.77	7.08	2.49	4.98	7.56	3.30	5.94	8.37
ญ. 2	1.83	4.50	7.23	2.19	4.77	7.32	2.88	6.60	8.13
ญ. 3	1.77	4.72	6.72	2.79	5.36	7.89	3.28	6.22	8.42
ญ. 4	1.71	4.50	7.05	2.61	5.07	7.38	4.05	6.03	8.22
ญ. 5	1.99	4.98	6.84	2.52	5.43	7.53	3.30	6.15	8.19
ญ. 6	1.74	4.65	7.08	2.16	5.13	7.47	3.24	5.88	8.22
ญ. 7	1.83	4.83	6.96	2.52	5.04	7.47	3.21	5.52	7.80
ญ. 8	1.89	4.83	7.92	2.13	5.94	8.13	-	-	8.85
ญ. 9	1.71	4.23	6.48	2.31	5.11	7.11	3.30	5.49	7.56
ญ. 10	2.85	5.25	7.62	3.12	6.27	8.90	3.03	5.58	9.18
ญ. 11	1.77	4.68	6.87	3.18	5.31	7.41	-	6.87	8.58
ญ. 12	1.86	4.68	7.50	2.31	5.34	8.28	3.33	6.03	8.52
ญ. 13	1.86	4.17	6.78	2.31	5.40	7.35	-	-	7.86
ญ. 14	1.89	4.62	7.44	2.28	4.83	8.04	2.97	5.52	8.40
ญ. 15	1.65	4.11	6.57	2.07	4.83	6.84	2.91	5.07	7.41
ญ. 16	2.16	4.68	7.32	2.82	5.43	8.16	3.81	5.58	8.46
ญ. 17	1.89	4.59	6.87	2.64	5.19	7.71	3.30	6.12	8.43
ญ. 18	1.74	4.17	6.51	2.58	5.09	6.86	3.75	-	8.31
ญ. 19	1.68	4.20	6.39	2.40	4.62	6.78	3.21	5.25	7.44
ญ. 20	1.77	4.62	6.96	-	-	7.86	3.54	6.51	8.64
ญ. 21	1.88	4.49	6.62	2.38	5.52	7.50	4.18	5.94	8.18
ญ. 22	1.71	4.26	6.48	2.34	5.13	7.11	3.72	-	8.34

ตารางที่ 22 ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III, III - V, I - V ที่ระดับ
ความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศชาย

ลำดับที่	ระยะเวลาระหว่างคลื่น (มิลลิวินาที)								
	80 dBnHL			60 dBnHL			40 dBnHL		
	I- III	III- V	I- V	I- III	III- V	I- V	I- III	III- V	I- V
ช. 1	2.7	2.79	5.52	-	-	-	-	-	-
ช. 2	3.05	2.11	5.16	2.91	1.95	4.86	-	-	5.04
ช. 3	2.43	2.46	4.89	2.82	2.07	4.89	-	-	-
ช. 4	2.73	2.91	5.64	3.09	2.52	5.61	-	-	-
ช. 5	2.91	2.55	5.46	2.94	2.40	5.34	-	-	-
ช. 6	2.70	2.22	4.92	2.67	2.13	4.80	-	-	4.95
ช. 7	3.13	1.98	5.11	2.82	2.52	5.34	-	-	-
ช. 8	2.70	2.58	5.28	2.79	1.95	4.74	2.70	2.43	5.13
ช. 9	2.53	2.40	4.93	2.40	2.22	4.62	-	-	-
ช. 10	2.88	1.92	4.80	2.46	2.34	4.80	-	3.81	-
ช. 11	3.09	2.61	5.70	2.61	3.27	5.88	2.46	2.52	4.98
ช. 12	2.22	2.61	4.83	2.58	1.90	4.48	-	-	-
ช. 13	2.64	2.43	5.07	3.33	1.56	4.84	2.67	1.71	4.38
ช. 14	2.94	2.37	5.31	3.00	2.37	5.37	2.73	2.49	5.22
ช. 15	2.47	2.40	4.87	2.31	2.22	4.53	2.58	2.43	5.01
ช. 16	2.49	2.40	4.89	2.88	2.16	5.04	3.15	1.95	5.10
ช. 17	2.67	2.34	5.01	2.34	2.37	4.71	-	-	5.16
ช. 18	3.03	2.13	5.16	2.97	2.01	4.98	2.70	2.19	4.89
ช. 19	2.73	2.28	5.01	2.85	2.85	5.70	-	2.64	-
ช. 20	3.33	2.31	5.64	-	2.40	-	-	-	-
ช. 21	2.40	2.46	4.86	2.46	1.80	4.26	2.70	2.19	4.89
ช. 22	2.61	2.37	4.98	2.88	2.13	5.01	2.34	2.34	4.68

ตารางที่ 23 ข้อมูลดิบแสดงค่าระยะเวลาระหว่างคลื่นที่ I - III, III - V, I - V ที่ระดับความดัง 80, 60 และ 40 dBnHL ในเด็กเพศหญิง

ลำดับที่	ระยะเวลาระหว่างคลื่น (มิลลิวินาที)								
	80dBnHL			60 dBnHL			40 dBnHL		
	I- III	III- V	I- V	I- III	III- V	I- V	I- III	III- V	I- V
ญ. 1	3.06	2.31	5.37	2.49	2.58	5.07	2.64	2.43	5.07
ญ. 2	2.67	2.73	5.40	2.58	2.55	5.13	3.72	1.53	5.25
ญ. 3	2.95	2.00	4.95	2.57	2.53	5.10	2.94	2.20	5.14
ญ. 4	2.79	2.55	5.34	2.46	2.31	4.77	1.98	2.19	4.17
ญ. 5	2.99	1.86	4.85	2.91	2.10	5.01	2.85	2.04	4.89
ญ. 6	2.91	2.43	5.34	2.97	2.34	5.31	2.64	2.34	4.98
ญ. 7	2.55	2.58	5.13	2.52	2.43	4.95	2.31	2.28	4.59
ญ. 8	2.94	3.09	6.03	3.81	2.19	6.00	-	-	-
ญ. 9	2.52	2.25	4.77	2.80	2.00	4.80	2.19	2.07	4.26
ญ. 10	2.40	2.37	4.77	3.15	2.63	5.78	2.55	3.60	6.15
ญ. 11	2.91	2.19	5.10	2.13	2.10	4.23	-	1.71	-
ญ. 12	2.82	2.82	5.64	3.03	2.94	5.97	2.70	2.49	5.19
ญ. 13	2.31	2.61	4.92	3.09	1.95	5.04	-	-	-
ญ. 14	2.73	2.82	5.55	2.55	3.21	5.76	2.55	2.88	5.43
ญ. 15	2.46	2.46	4.92	2.76	2.01	4.77	2.16	2.34	4.50
ญ. 16	2.52	2.64	5.16	2.61	2.73	5.34	1.77	2.88	4.65
ญ. 17	2.70	2.28	4.98	2.55	2.52	5.07	2.82	2.31	5.13
ญ. 18	2.43	2.34	4.77	2.49	1.79	4.28	-	-	4.56
ญ. 19	2.52	2.19	4.71	2.22	2.16	4.38	2.04	2.19	4.23
ญ. 20	2.85	2.34	5.19	-	-	-	2.01	3.09	5.10
ญ. 21	2.61	2.13	4.74	3.14	1.98	5.12	2.33	1.67	4.00
ญ. 22	2.55	2.22	4.77	2.79	1.98	4.77	2.22	2.40	4.62



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ เรืออากาศเอกหญิง ดาวเรือง บุญยรักษโยธิน
วัน เดือน ปีเกิด 31 มกราคม พ.ศ. 2507
สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา วิทยาลัยพยาบาลทหารอากาศ พ.ศ. 2525 - 2529
ประกาศนียบัตรพยาบาลศาสตร์ (เทียบเท่าปริญญาตรี)
มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2537 - 2540
ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาความผิดปกติของการสื่อความหมาย
คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน สถาบันเวชศาสตร์การบิน กรมแพทย์ทหารอากาศ
ตำแหน่ง: นักโสตสัมผัสวิทยา