■特 集〈小児の脳障害と言語・行動〉

画像診断と電気生理学的アプローチ

加我 君孝 進藤美津子 橋本 佳子 田中 美郷

要 約：画像診断法の最近の進歩は著しい。X線CT, MRI, Positron CTなどが、その代表的なものであり、小児の脳損傷と言語、行動に関する診断・治療・教育には、欠かすことができない。解剖学的な異常の同定には、CTよりもMRIの方が優れている。しかし、両者とも1 cmのスライス厚の平均画像で、実際の脳とは異なることを留意しなければならない。Positron CTは、脳の代謝異常や変化を知るのに良い方法で、CT, MRIでは明らかにできないような生化学的異常を明らかにすることが可能である。

電気生理学的な診断法の進歩もコンピューターの応用で著しい。特に誘発電位は、睡眠時でも可能な、各感覚の神経系に起源を持つものと、覚醒時に、被験者に判断行為をさせることで記録する事象関連電位(ERP)に分かれ、聴覚、視覚に関連した障害の診断に臨床応用されている。各種の読字障害の診断に、電気眼振計で記録する、文章を読む時の眼球運動の分析も有用である。

小児では、画像および電気生理学的診断法のような、他覚的検査法の活用が、脳障害と言語・行動の理解の鍵である。

索引用語：コンピューター断層, 核磁気共鳴, ポジトロンCT, 事象関連電位, 読字の眼球運動

Brain Imaging and Neurophysiological Approach for Disorders of Language and Behavior in Children with Acquired Brain Damage

Kimitaka Kaga, M. D., Mitsuko Shindo, Ph. D., Yoshiko Hashimoto
and Yoshisato Tanaka, M. D.

Abstract : Brain imaging has made great progress in recent years. Computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI) and positron emission tomography (PET) are frequently used to diagnose brain damage in children with acquired language disorder. It should be noted that CT and MRI show images of brain slices that average 1cm in thickness and are not the same as actual brain anatomy. PET is useful to explore metabolic changes in brain even when CT and MRI do not show any abnormality.

Neurophysiological methods have also remarkably in recent years with the use of computers. Evoked potentials are divided into two types. One is convenient to explore lesions of primary sensory pathways in brain, even during sleep, and the other, which is called event related potential, is useful to examine perceptive or discriminative ability in brain under a task-related paradigm. Eye movement analysis during reading which is recorded by electronystagmography is a useful method for studying children with dyslexia.

Key words : CT, MRI, PET, event related potential, eye movement during reading

1. はじめに

小児の脳損傷に伴う言語障害の診断・治療・教育は難しい分野の1つである。対象が小児であることによる心理学的検査の困難さ、脳損傷に伴う、てんかんの薬物治療や言語訓練や教育の方法の計画などが重要な問題である。小児では他覚的な検査による、正確な情報が期待される。英国のジャクソンの流れの上にある、神経学者の Brain は 1961 年の著書の前書で、「脳病変の解剖学的な記述と言語障害の心理学的理解の間において、両者を媒介するものは生理学である。したがって生理学的考察こそ言語とその病理を理解する鍵である」と述べている¹⁾。小児では、特に Brain の指摘は、より適切である。1961 年には、まだコンピューターの医学領域への応用は黎明期であった。したがって解剖学的記述とは剖検による脳病変の同定を意味し、生理学的記述とは脳波所見を意味したと考えられる。その後の 25 年はコンピューターを軸に医療機器の進歩はめざましく、解剖学的記述は CT から、さらに精細な MRI, Positron CT, 生理学的記述は、脳波から誘発反応、眼球運動、音声などの定量的分析へと発展している。ここでは、最近の画像診断と電気生理学的なアプローチ（表 1）の進歩について述べる。

2. 画像診断

1) CT

CT が臨床に導入されて 10 年ほどになる。初期は解像力が悪かったが、最近では高分解能タイプが使用され、灰白質と白質の差もわかるようになってきている。しかし CT の機種による差が大きく、読影にあたっては、フィルムに欺かれない注意が必要である。

CT の写真は、脳の断面をそのままあらわしたものではない。1 cm の厚さを持つ、3 次元の脳組織を 1 枚の写真にコンピューターの画像処理で平均化して見せる。したがって実際の脳の解剖と CT を対応させると、著しく異なることがある。すなわち、脳機能と責任病巣の厳密な対応は、現在でも脳解剖を待たなければならない。図 1 に右後頭葉損傷で交叉性の失読を呈した症例の CT を示した。CT 上は、右後頭葉の広汎な梗塞像として見かけ上観察されるが、剖検脳では図 2 に示すように限局した梗塞像であることがわかる。

CT は脳の live information を与えるので小児の言語障害の診断には特に重要である。一般に脳実質より高い X 線吸収値を示すものを high density と呼び、出血、石灰化、実質性腫瘍、骨、等が high density を示す。low density を示すものは、脳浮腫、髄液、脂肪、梗塞性病変、硬膜下腔液貯留、嚢胞性病変等である。ただし小児では 5～6 歳以下では髄鞘形成が不十分なために白質と灰白質の区別がつきにくい。10 歳前後で

表 1 神経心理学的事項と生理学的検査

神経心理学的项目	生理学的検査	
	a. 非言語的検査	b. 言語的検査
1. 聴く	純音聴力検査 聴性脳幹反応 (ABR) 聴性中間反応 (MLR) 頭頂部緩反応 (SVR)	事象関連電位 { P 300, CNV omitted click }
2. 読む	視覚誘発電位 (VER) 視運動性眼振 (OKN) 指標追跡運動 (ETT) 二点交互視	読字の眼球運動
3. 話す	フォノラリಂಗグラフ	ソナグラフ 運動関連電位
4. 書く	線画動作解析	暮速・筆圧解析
5. その他	脳波

図1 右後頭葉の脳梗塞により、交叉性失読症を呈した1例のCT。右後頭葉全体に及ぶ梗塞像を示す。

図2 図1の例の剖検脳のCTと比較した断面。実際の梗塞は、後頭葉の鳥距溝に面した限局したものであることがわかる。

成人同様となる。脳室系、くも膜下腔も乳幼児では生理学的に拡大しているの、脳浮腫、脳腫脹と間違われることがある。静脈内造影剤を使用し、病変をより明らかにしたい時がある。画像上の増強効果は血管内の造影剤または血管外への造影剤の漏れによって生じる。前者では脳腫瘍、脳動静脈奇形、後者では、血液・脳関門の障害により造影剤が異常組織内へ漏出することによって生じ、脳梗塞の急性期、脳腫瘍、脳膿瘍、変性疾患等でみられる²⁾。

CTは以上の特徴を考慮して読影すると病変のダイナミックな動きがわかる。例として、図3に、ヘルペス脳炎によって、結果的に、両側の聴皮質を含む上側頭回に破壊病変の生じた3歳男児のCTを示した。発症翌日の87/8/14のCTは皮質下に脳浮腫が生じ low density の部位が拡がり、87/9/1の2週目には出血性

梗塞により左右の上側頭回の実質の障害を示す low density が観察されるが、視床にも同様の陰影が認められる。88/9/20の1年後のCTでは、low density が上側頭回のシリビウス裂に面した部分に局限していることがわかる。本例は現在聴覚失認状態を呈している。

2) 磁気共鳴映像法

核磁気共鳴 (nuclear magnetic resonance ; NMR) 現象を応用した映像法を磁気共鳴映像法 (magnetic resonance imaging ; MRI) といい、現在、中枢神経系への応用が急速に広まりつつある。CTはX線を使用するがMRIではX線を使用しないため、被爆することがなく安全である。原理的には水素原子核すなわち陽子(プロトン)が磁場の中に置かれると、影響を受けることを応用したものである。人体には無数の水素原子核が存在し、磁場のパラメーターを変えること

図3 3歳男児のヘルペス脳炎のCTの変化。発症は1987年8月13日。左の発症第2日目は脳浮腫による皮質下の low density の拡大，真中の2週目は出血性梗塞による右上側頭回の損傷，右の1年後も同様の所見を示す。臨床症状は聴覚失認を呈した。

で、その影響を映像化することができる³⁾。MRI では、一見、従来の CT と似ているので、その常識で判断すると間違いやすい。パラメーターを変えた時の代表的な画像が T_1 強調像と T_2 強調像である。

T_1 強調像では、信号強度が白質、灰白質、脳脊髄液の順に低くなる。ただし脂肪組織が高信号強度を示す。 T_2 強調像では脳や脊髄では T_1 強調像とは反対に脳脊髄液、灰白質、白質の順に信号強度は低くなる⁴⁾。MRI では、CT とは異なり脳を自由な角度で、被験者の体位を変えることなく、映像を得ることができるので、解剖学的部位診断が、CT よりも正確に可能である。図4にヘルペス脳炎により知的レベルが低下し、かつ失構音状態を呈した2歳女児のMRIを示した。図の上段に示す水平断では T_1 強調で左の第3前頭回、上側頭回、 T_2 で同様の病巣が疑われる。しかし下段の冠状断では T_1 では左の第3前頭回に低信号、 T_2 では高信号の病巣同定が可能である。MRI も脳についてはCTと同様に1 cmのスライス厚全体の平均的な画像を示すため、実際の脳の一断面を示しているわけではないことを心に留めなければならない。

脳損傷による言語障害の診断には、局在病巣の分布がCTよりも正確な情報を与えてくれるMRIの方が良い。フォローアップにも同様である。図5に、小学校6年女子で、授業中、黒板の字が読みにくくなった症例のMRI冠状断を示した。術前の左のMRIでは、

側脳室の著しい拡大があり、水頭症の診断であった。側脳室・腹膜のシャント術後は、右のように、第3脳室の軽度拡大を示す以外、問題を認めない。術後は読字障害も消失した。

MRI ではCTではできない脱髄疾患の診断や機能的面の把握の可能な場合がある。多くの病変では T_1 強調像では低信号が強度に描出し、 T_2 強調像では高信号が強度に描出されるが、特異な信号強度を呈する疾患がある。 T_1 強調像で高信号強度を呈するものに、脂肪腫や、コレステリンを含む液体を有する頭蓋咽頭腫、メトヘモグロビンを示す亜急性期の血腫があり、 T_2 強調像で低信号強度を有するものに急性期の血腫、石灰化巣や骨化巣がある。脱髄疾患では、 T_2 強調像で、白質と灰白質の信号強度が逆転することがある^{4,5)}。図6の右に、聴覚的理解は良好であるが、構音障害と四肢の筋緊張の高い4歳男児の T_2 画像を示した。左に示す正常例の白質と灰白質と信号が逆転していることがわかる。本例は、Leucodystrophy の1つである、Perzause-Merzbach 病と考えられる。

3) ポジトロン CT

CT やMRI では、脳の破壊病変や出血・梗塞・腫瘍病変を知ることができるが、脳の代謝については、不明である。小児では、てんかん失語症候群のように、CT やMRI では病変の同定が困難な症例が少なくな。脳に生化学的異常がある場合も同様である。ポジ

図4 2歳女児のヘルペス脳炎のMRI. 上は水平断, 下は冠状断, 左は T_1 強調, 右は T_2 強調画像を示す. 失構音状態を呈した.

図5 小学6年女子の水頭症例の術前(左), 術後(右)のMRI 冠状断, T_1 強調画像.

図6 左, 正常若年女子, 右 Perzaeus-Merzbach 病の MRI T₂強調画像, 両者では灰白質, 白質の信号強度が逆になっている。

図7 Fluoro-deoxyglucose を使用した, 5 歳女児の PositronCT 正常像を示す。代謝率の高いものほど赤, 低いものほど青に近づく。

トロン CT では目的に応じて核種を変えることで局所ブドウ糖代謝率や酸素代謝率, 局所脳血流量を, 画像化して知ることができる。

原理的には, 自然界元素より 1 原子量が少ない, 陽電子放出核種を用い, これが安定原子になる際に放出された 1 個の陽電子 (positron) は物質中の最寄りの陰電子 (electron) と結合しエネルギーを失って静止する。その際に, 180°方向に γ 線を放出するので, 一对の対向検出器で同時に検出した γ 線のみを記録し, その発生源を同定し, 画像化する。

図 7 に局所脳ブドウ糖代謝率を指標とした 5 歳女児の Positron CT の正常像を示した。明るく示される, 代謝率の高い部分は, 大脳皮質全体と大脳基底核を示し, 比較的低い部分は, 小脳, 視床, 側頭葉底面である。図 8 に Landau-Kleffner 症候群の 7 歳女児の両側頭葉領域に異常を呈する脳波を示し, 図 9 に Positron CT を示した。Positron CT では右前頭・側頭・頭頂葉のグルコース代謝が低く, 暗い部分で示されている。X 線 CT では問題がないので, 強いて診断名をつけるなら, 交叉性の語聾ということができよう。図 10 に,

5歳女児でモヤモヤ病による脳血管障害でX線CT上、梗塞像が認められる症例のPositron CTを示した。臨床的には仮性球麻痺による、著しい構音障害が

ある。グルコース代謝は、両側前頭葉が他に比し低下し、特に左前頭葉のブローカー領域を含む部位の低下が顕著である。

図8 Landau-Kleffner 症候群の7歳女児の脳波。左右の側頭領域にてんかん波が出現している。

図9 図8の症例の ^{11}C -glucoseを利用したpositronCT。右半球のグルコースの集積の低下が示されている。

図10 モヤモヤ病による仮性球麻痺を示す5歳女児のPositron CT。左右前頭葉の皮質部分のグルコースのとり込みが悪い。特に左に強く示されている。

A.T.4yrs

図 11 純粋語啞を呈する 5 歳女児の脳波。主に前頭、頭頂領域にてんかん波が出現している。

以上、代表的な最近の画像診断法を示したが、言語障害の基盤となる疾患に応じて画像診断法を使いわけ、解剖学的に病巣を同定する時代を迎えている。

3. 電気生理学的アプローチ

1) 脳波と K complex

脳波は、脳の自発放電の記録と言える。小児の場合、電気生理学的検査の中で最も基本的なもので、①年齢的变化、②部分てんかん、③全般てんかん、④意識混濁による徐波化、⑤器質障害による部分的徐波化、などが言語障害に関連した脳波の変化である。異常脳波が、言語中枢を含む領域に分布しているか注目する。てんかん脳波が側頭葉に分布し、語聾が症状としてある時は Landau-Kleffner 症候群として知られているが、図 11 に示した 5 歳女児の脳波は、主に前頭・頭頂葉領域にてんかん波が分布している。本例は、発語のみが著しく遅れ、他の面は正常発達を示し、てんかん失語症候群の中に含まれ、純粋語啞の状態像を示している。

頭部外傷後遺症、モヤモヤ病、髄膜炎などにより生じた言語障害を呈する小児では脳波異常を伴う頻度が高く、言語療法と併行した定期的な脳波検査と異常脳

波に対する適切な薬物治療が症状の改善につながる。

K complex は、睡眠時に、音刺激を与えると出現する一過性の徐波成分で、両側の側頭領域に出現する。K complex の K は、単に語呂が良いということで付けられたという。この音に対する反応は、後で述べる、誘発反応の緩反応は、K complex を加算したものである。図 12 に Landau-Kleffner 症候群の女児の K complex を誘発させた時の脳波を示した。左右の側頭領域に出現しており左右差も認めない。したがって、本例では側頭葉は音刺激に対して電気生理的には反応が存在することがわかる。

2) 誘発電位

誘発電位は、覚醒・睡眠にかかわらず反応の得られるものと、覚醒時のしかも被験者が何らかの作業あるいは行為 (task) を行った時に得られるものに分けることができ、後者を特に事象関連電位 (event related potential) と呼ぶ。小児領域では、検査に非協力的な場面が多いため、睡眠下でも可能な誘発反応が主となる。

i) 聴覚誘発電位

末梢聴力、聴神経、脳幹の聴覚伝導路、聴皮質の障害の有無を他覚的に調べる。現在のところ、聴皮質障

図12 太鼓（左）、シンバル（右）の音刺激によって脳波上に出現したK complex.

害を、明瞭に誘発電位で示すことはできていないが、他については可能である。誘発電位の基本原理は、刺激を与えた時のみに生じる、脳内の微弱な電位を、フィルターを通じてからコンピューターで加算処理し、ノイズから分離させて得られる反応である。

a) 蝸电图 (electrocochleography). 記録電極を鼓膜面か外耳道、あるいは鼓膜を貫通させ、岬角上におくと潜時4 msec内に2峰性のピークが出現する。この反応は compound action potential (AP) といい、聴神経に起源を持つ反応である。内耳、聴神経障害の診断に利用する⁶⁾。

b) 聴性脳幹反応 (auditory brainstem response ; ABR). 現在、最もポピュラーな反応で潜時10 msec内に、クリック刺激で7つのピークが出現する。第I波は聴神経、II波は蝸牛神経核、III波は上オリブ核、IV、V波は下丘に起源を持つと考えられている。V波を指標として末梢性難聴の域値検査、波形全体の異常を指標として脳幹障害の診断に用いる(図13のI~VI波)^{6,7)}。

c) 中間潜時反応 (middle latency response ; MLR). 潜時50 msec内にABRに続いて N_a , P_a , N_b という1峰性の山が出現する。おそらくABRのVII波~MLRの N_a の部分が聴皮質に関与していると推定されるが P_a は不明である。MLRはABR同様、新生児からも記録されるが、再現性はABRほどではない。聴覚失認のように両側聴皮質に損傷があっても反応は得られる(図13の N_o ~ N_b)。

d) 緩反応 (slow vertex response SVR). 潜時200 msec内に $P_1N_1P_2$ という2峰性のピークが出現する。一昔前に大脳誘発反応と言われたもので、睡眠の第2ステージで最も大きな反応が得られる。起源はわかっていないが、脳幹網様体など、非特殊聴覚伝導に起源を持ち、図12に示したK complexの加算平均したものと考えられ、側頭領域が大きく関与した反応である。

聴覚誘発電位は末梢性難聴の有無の診断に最も有効である。中枢性難聴が疑われる症例では第1に末梢性難聴や聴神経障害、脳幹障害の除外診断を行うため有用である。中枢性難聴自体は、片側の聴皮質や Wer-

図 13 ヒトの聴覚誘発電位を理想的に横軸を対数軸で示し模式化したもの。I ~ VI は脳幹反応 (auditory brainstem response, ABR), N_0 , P_0 , N_a , P_a , N_b は中間潜時反応 (middle latency response), P_1 , N_1 , P_2 , N_2 は緩反応 (slow vertex response)。実線で示した部分が「外因性」の誘発電位の成分で、被験者の「注意」状態と無関係に得られる。――または・・・で示した部分が、選択的注意に関連した「内因性」の成分 (Hillyard, 1984)。

図 14 Landau-Kleffner 症候群の 6 歳女児の聴性誘発反応。ABR, MLR, SVR は左右耳刺激とも年齢相応の正常な反応を示している。

図 15 視覚誘発電位 A, Ciganeck の報告した模式図, B は, A を上下変え, positive up したもの。C は, 著者らのフラッシュ刺激による視誘発電位の F_z (前頭正中部), C_z (頭頂正中部), O_z (後頭正中部) よりの記録, 部位によって波形が異なる。

nicke 中枢の障害でも、両側の上側頭回の損傷による聴覚失認でも著者らの経験では、ABR, MLR, SVR も正常反応であった。図 14 に、図 8, 9 で示した Landau-Kleffner 症候群の、起源を異にする 3 つの誘発電位を示したが、年齢相応の正常範囲内の反応である。

ii) 視覚誘発電位

網膜、中枢視覚伝導路の障害の他覚的診断に用い、フラッシュかパターンを刺激に使う。

a) 網膜電図 (electroretinography ; ERG). 眼科では、角膜にコンタクトレンズ電極を装着させて、網膜の電位を記録しているが、皿電極を眉間部に置くことでも記録できる。被験者は睡眠状態で良い。図 15 A の第 1 次反応に示すような波形で、網膜細胞、視神経に起源を持つ。視覚失認や精神盲の疑われる場合に必須の検査である。

b) 視覚大脳誘発電位 (visual evoked response ; VER).

VER の波形は、頭皮上の電極の位置によって異なる (図 15-C). SVR が頭頂部の記録電極だけで記録でき

るのと大きく異なる。中枢の視覚伝導路は、膝状体有線領系 (視索-外側膝状体-視覚 1 次中枢) と非膝状体有線領系 (視神経-上丘-視床枕-頭頂葉) に分けることができるが、VER の波形との対応はまだ明らかではない。図 16 に示すように、両側後頭葉損傷のために生じた aperceptive visual agnosia の 8 歳女児の症例では後頭部の反応が著しく悪く、損傷を反映しているものであろう。

iii) 他の感覚の誘発電位

知覚障害の電気生理学的診断を目的に、電気刺激による体性感覚誘発電位は臨床応用が盛んであるが、嗅覚や味覚については研究的に用いられる程度である。

iv) 事象関連電位 (ERP)

a) P 300. 認知・判断・記憶などの高次神経系の因子の関連した ERP の 1 つで、現在、最も興味を持たれているものの 1 つである。刺激は 2 種類の異なる音 (あるいは図形) 刺激で、ランダムに、椅子に座った被験者に与えられるが、1 つは 20% (rare 刺激) 他は 80% (frequent 刺激) の割合にする。記録は rare と frequent 刺激を別々のチャンネルで記録し、比較する。被験者には 20% の割合の刺激音に注意させる。1 回の試行で正常者では 20% の誘発反応の方には SVR の P₂ のあとの 300 msec 周辺に大きな陽性電位が出現する。これを P 300 あるいは late positive component という^{7,9)}。80% のチャンネルの誘発電位は SVR の P₁P₂ しか得られない。図 13 の実線が frequent で点線が rare に相当する。小児では 4 歳以上であれば P 300 の記録は可能である。

聴覚を刺激とした P 300 は、語聲や聴覚失認では刺激が純音であれば、P 300 が誘発され得るが、刺激が語音の場合は誘発されにくい。P 300 は、聴覚認知の変化を他覚的にモニターすることにも応用できる。図 17 に、人工内耳の植込みを行った 1 例の、6 カ月目の純音と語音の P 300 記録を示した。それ以前は、rare 刺激では P 300 は出現しなかったが 6 カ月になって初めて誘発され、それ以後は安定して出現する。これは 6 カ月目になって、人工内耳を通じて、聴覚認知が、再学習され確立したことを示唆している¹⁰⁾。

b) Omitted click. P 300 と類似の反応であるが、感覚刺激を与えないにもかかわらず、判断だけで出現する。P 300 のパラダイムで、2 種類の刺激のうち、20% の方には音刺激を与えない。80% の方はクリックとする。被験者には 20% の方の Omit されたクリックの個数を数えさせると、そのチャンネルの誘発電位に P 300 が出現する。音を与えられないにもかかわらず、出現するため omitted click と呼ばれる¹¹⁾ (図 18)。す

図 16 Aperceptive visual agnosia (統覚型視覚失認) の 8 歳女児の視覚大脳誘発電位。MRI で両側後頭葉に外傷による脳損傷がある。C_z (後頭正中部) のみが反応を認めない。

図 17 人工内耳植込み例の術後 6 カ月目の P 300. a: 500 Hz VS 250 Hz. Rare 刺激で P 300 が誘発されている. Rare-Freq は differential potential を示す. b. Kuro (黒) VS Aka (赤) の語音刺激による P 300. Rare 刺激で振幅の大きい P 300 が誘発されている.

でに述べた人工内耳症例でも omitted click 実験で大きな P 300 が得られた。実際には音刺激が与えられていないにもかかわらず、期待と判断だけで誘発される点が大きな興味をそそる。

c) CNV. 2 種類の異なる感覚刺激を使う。たとえば第 1 音にクリック、それより 1,000 msec 過ぎてから与えられる刺激をフラッシュにすると第 2 刺激の前に陰性電位が生じる。これを contingent negative variation, CNV といい、期待波とも呼ばれ、P 300 よりも容易に記録ができ、小児でも可能である。図 19 に、

両側聴皮質損傷により聴覚失認を呈した 1 例の CNV を示した。第 1 刺激のクリック (S_1)、第 2 刺激のフラッシュ (S_2) の間に陰性電位の変動があり、 S_1 が認知され S_2 刺激が期待されていることが他覚的にわかる。

3) 読字と眼球運動

われわれが邦文を読む時は、図 20 に示すような階段上の波形を示す。この記録は、電極を左右の外眼角側の皮膚上に接着させ、電気眼振計で水平眼球運動を記録したものである。記録は、注視線の移動を示し、1 つの階段は 1 回の注視線が捉える文の構成単位を表し

図18 Omitted click 実験. 弱いクリック刺激を毎秒1回の割合で与えるがただしランダムに音刺激を Omit させ、何回刺激がなかったか数えさせる。その本来刺激のきたるべき個所で加算された方がより大きな誘発電位 (矢印) が出現する (Picton, 1984)。

ている。邦文では、単語や文節が、その単位を示し、行を変える時には眼球が右端から左端に大きく移動する。英文でも、単語や句が構成単位となっている。したがって正常者では、“階段”の数は、文字数より、はるかに少ない。この傾向は英文でも同様であることがわかる (図 21)。カレンダーの数字では数字1個と“階段、1個が対応する。

読字に伴う眼球運動は、生理学では (saccade) と呼ばれる急速眼球運動であり、眼前より 50 cm 離れた、視角 20° の 2 点を交互に追う時の眼球の速度は毎秒 300~400° と速い。サッケード性眼球運動¹²⁾はあるものから他のものへ視線を移す時や、急速に運動する物体をとらえる時に用いられ、視覚に最も密接に結びついた眼球運動である。サッケード性眼球運動の求心路は網膜の fovea の Y, W 型神経節細胞を起源として視神経を経て中脳の上丘の視覚細胞に伝えられる。視覚細胞の興奮は下層のサッケード性細胞に伝えられる。サッケード性細胞が眼球運動の大きさと方向を、橋の内側網様体核 (pontine paramedian reticular formation, PPRF) に指令する。PPRF から、脳幹内の動眼、外転、滑車の神経核へ興奮が伝えられ、サッケード性眼球運動が生じる。基本的には上丘は注視点と視標のずれを測定し、それをゼロとする眼球運動の自動制御

Y.A 15yrs

CNV

図19 両側側頭葉損傷により聴覚失認を呈した15歳男のCNV。第1刺激 (S₁) はクリック、第2刺激 (S₂) はフラッシュ、S₂の前に陰性電位の変動を認める。

図 20 読字の眼球運動（正常例）。文章 B を読んだ時の眼球運動を A に示す。A は電気眼振計記録で上が原波形（時定数 3.0/秒）で眼球の位置の変化を示し、下が微分波形（時定数 0.003/秒）で、眼球速度をあらわす、A と B の算用数字は対応する。

図 21 英文を読む時の眼球運動（正常例），図 20 同様，単語や句ごとに変化することがわかる。

装置として働くため、反射性の眼球運動であると考えられている。しかし、読字の際にみられるように上位中枢からの支配があり、眼球運動の対象が随意的に選択される。四丘体上丘へ眼球運動の「意志」を伝えるための上位中枢としては、前頭眼野(frontal eye field)と頭頂葉(parietal cortex)が考えられている¹²⁾。読字の場合は、「意志」を伝える中枢と上丘の間に、言語中枢が介在している。

失語症例や失読の例では図 22 に示すような 2 つの

タイプが代表的である。上段は、失読のために単語や句ごとに読むことができず、単に 1 個の文字を図形のように追視するために階段波形の数が文字数とほぼ一致する。下段では、きわめて、ゆっくりしか文字や単語を読めないために、階段波形として眼球運動が成立するに至らず、行を変える時だけ、大きな眼球運動が生じているものである。小脳失調による構音障害を呈する 9 歳女児の読字の眼球運動を図 23 に示した。小脳障害では、言語中枢には問題がないので正しく読める

図 22 純粋失読例の眼球運動。文章は図 20 と同じ。上段の症例では逐字ごとに眼球の位置が変化し、下段の症例では、きわめて緩慢にしか文字を追跡できないため、無反応のように見える。

Reading

ぼくが走ると ぼくがかくれると ぼくが「くろくろ」とよんだら くろは、おとふとびついてきました。

図 23 Louis-Bar 症候群に伴う小脳性構音障害例の眼球運動、小脳性眼球運動障害のために、原波形は階段波形とならない。

図 24 「はれ」をみせた際の注視点の移動軌跡と停滞フレーム数 (各座標に位置した注視点の数)。A: 視標, B: 純粋失読患者の記録, 文字をなぞるように注視点が移動している。C: 健常人。D: 失読のない右同名半盲患者, C と D は文字をなぞるような注視点の移動はみられない¹³⁾。

が、眼球運動自体が緩慢になる。小さな文字を読む時の眼球の運動は階段波形を形成するが、行を変えるような大きな眼球運動が著しく遅くなる。

注視点の移動軌跡を、アイマークカメラを使うとより微細な眼球の動きがわかる¹³⁾。図 24 に石合らの正常者、純粋失読、右同名半盲例の注視点移動軌跡記録を示した。純粋失読では、かなのストロークをなぞるように追っているが、正常例では、非常に速い動きで、いちいちストロークをスキッピングすることなく注視点が移動していることがわかる。

読字の眼球運動は、文章を読む時に、文字と注視点を厳密に対応させることが難しい。しかし、コンピューターによる情報技術の発達で、可能になる日も近いと予想される。

4) “話す、ことと”書く、ことの生理学的検査

この 2 つの機能に関する、高次神経機構に結びついた検査は少ない。日常的には“話す、機能は、フォノラリニンググラフやソナグラフを利用した音響分析で他覚的に調べる。”書く、機能については筆速・筆圧分析があるが今のところ適当な他覚的検査法はないようである。運動関連電位は、生理学的な数少ない検査法の 1 つである。これは運動準備電位ともいい、たとえば自分の意志で手の指を折る動作を繰返し、その行為によって生じる筋電図をトリガーとして、その前後約 2 秒間の誘発電位を頭皮上から記録する。その結果、行為の前に電位変動が生じる。この電位が運動準備電位であり、随意運動を行うための企図あるいは意志のあらわれと見なすことができる。運動関連電位の記録

が発声、発語、書字についても可能なはずであるが、再現性のある反応を得ることは容易ではなく、ルーチン検査にはなりにくい。

4. おわりに

画像診断も電気生理学的検査の技術革新もコンピューターと情報処理技術の進歩にほかならない。脳の画像診断の技術開発の進歩で、実際の脳の形態や代謝が、より正確にわかるようになるであろう。電気生理学的な検査法は、脳のより小さな部分の機能を明らかにすべく技術開発が続くであろう。はじめに述べた Brain¹⁾の言葉を現代風に改めると、「小児の脳損傷と言語障害・行動の理解の鍵は脳病変の画像診断と電気生理学的診断の媒介にある」とも言える。

Positron CT のご協力を頂いた秋田脳血管障害研究所、神経内科、長田 乾先生に感謝いたします。

文 献

- 1) Brain: 失語症 (訳), 東大出版会, 1961.
- 2) 山田博是: CT, 小児神経症患者診療ハンドブック (渡辺一功編), 216-222, 南光堂, 1988.
- 3) 飯沼一字: RI, MRI・PET, 小児神経疾患診療ハンドブック (渡辺一功編) 241-247, 南光堂, 1988.
- 4) 吉川宏起: 脳神経外科医に必要な MRI の知識, 脳神経外科 15: 365-372, 1987.
- 5) 南 学: 脱髄・変性疾患の MRI 診断, 脳神経外科 15: 703-707, 1987.
- 6) 加我君孝: 聴性脳幹反応の臨床応用, clinical

- neuroscience, 8 : 883-892, 1987.
- 7) Hillyard S. A. et al. : Event-Related Potentials and selective attention to Different Modalities. In F. Reinso-Suarez and C. Ajmone-Marsan (Ed), Cortical Integration, Raven Press, New York, 1984.
 - 8) Cigánek, L. : The EEG response (evoked potential) to light stimulus in man, Electroenceph. Clin. Neurophysiol, 13 : 165-172, 1961.
 - 9) 加我君孝 : 脳の電気現象と精神活動, Event related evoked potential (事象関連電位 N_1 と P_3) 「脳から心へ」250-282, サイエンス社, 1988.
 - 10) Kaga K. et al. : P300 response to tones and speech sounds after cochlear implant —A case report. Laryngoscope (in press.)
 - 11) Picton T. W. et al. : The effects of age on human event - related potentials. Psychophysiology, 21, 312-325, 1984.
 - 12) 外山敬介 : 眼球運動の生理学. 神経耳科学 I, 74-88, 金原出版, 1985.
 - 13) 石合純夫, 他 : 純粋失読患者の文字認識—アイカメラによる検討—神経内科 24 : 428-429, 1986.

別刷請求先 : 〒173 東京都板橋区加賀 2-11-1

帝京大学医学部耳鼻咽喉科学教室

加我君孝