

原 著

## 経鼻咽頭電極記録の体性感覚誘発電位ならびに 上行性脊髄誘発電位の起源と有用性の検討

東京女子医科大学 医学部 整形外科学 (主任：伊藤達雄教授)

コバシ ヒロエ ヤマモト ナオヤ イトウ タツオ  
小橋 宏江・山本 直也・伊藤 達雄

(受理 平成17年2月2日)

### Nasopharyngeal Recordings of Median Somatosensory Evoked Potential and Ascending Spinal Cord Evoked Potential

Hiroe KOBASHI, Naoya YAMAMOTO and Tatsuo ITOH

Department of Orthopaedic Surgery (Director: Prof. Tatsuo ITOH),  
Tokyo Women's Medical University, School of Medicine

Median somatosensory evoked potential (SEP) and ascending spinal cord evoked potential (ascending-SCEP) obtained from nasopharyngeal recordings were studied in 227 patients (age of 5-80 years, averaged 56.7 years). For SEP, two negative potentials were recorded after median nerve stimulation. The mean latency of the first negative potential (n1) was 14 msec, and the n1 wave form coincided fairly well with the inverted P13/14 far field potential obtained from noncephalic (scalp) recording. Nasopharyngeal electrodes were located at the ventral brain stem at approximately the same level of the medial lemniscus that generates the P13/14. Thus, the origin of n1 was suspected to be the medulla oblongata similar to P13/14. The second negative potential (n2) of the SEP recorded after peripheral nerve stimulation was considered to correspond to N20 of the parietal SEP. Ascending-SCEP following spinal cord stimulation recorded by nasopharyngeal electrodes showed three negative waves. The first and second negative waves were conductive potential, and the third negative potential was speculated to be the post-synaptic potential. The sensitivity and specificity of ascending-SCEP to detect new postoperative neurological deficits were 46.2% and 98.9%, respectively. SEP and ascending-SCEP were useful for intraoperative monitoring of the cervico-medullary junction, the cervical spinal cord, and cervical roots.

**Key words:** somatosensory evoked potential, nasopharyngeal electrode, spinal cord evoked potential, spinal cord monitoring

### 緒 言

脊椎手術における脊髄・神経根障害は最も注意し、回避すべき合併症である。さらに近年各種の instrumentation の開発により、以前とは比較にならない良好な結果が期待できる反面、手技は複雑となり、脊髄ならびに神経根障害のリスクは大きくなっている。この10年来経頭蓋刺激の運動誘発電位が開発され利用されているが、麻酔のコントロールや電位評価に関して解決すべき問題がある。我々は経鼻咽頭電極を開発し、これまで硬膜外電極では評価不可能であった上位頸髄を含めた脊髄モニタリングを

行ってきた<sup>1)2)</sup>。

咽頭電極による頭頸移行部の刺激は経頭蓋刺激と異なり麻酔の影響を受けにくい。従来の硬膜外カテーテル電極のみを用いた導出方法では評価できなかった上位頸髄を含めた脊髄下行性電位を導出している。末梢神経や脊髄を刺激し咽頭電極から記録する上行性脊髄誘発電位は、神経根や脊髄背側の白質機能評価として用いているが、その電位起源は不明であり、体性感覚誘発電位 (SEP) との相違点は明らかでない。

今回、脊椎・脊髄手術中に行った multi-modal spi-

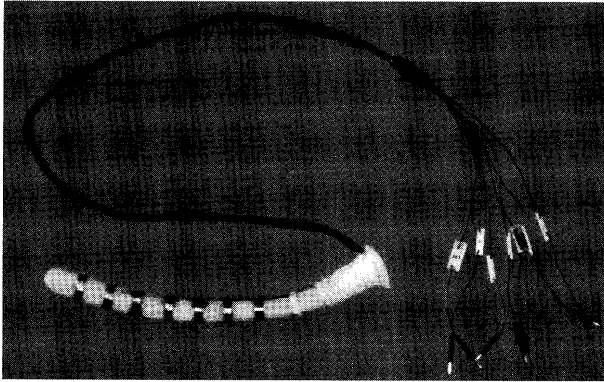


Fig. 1 咽頭電極

nal cord monitoring 例において，導出条件の違いによる誘発電位の変化や，SEP との比較による電位の起源や術後神経機能の変化を参考に脊髓機能評価としての有用性及び限界について検討した。

### 対象および方法

#### 1. 対象

2000年2月～2003年1月における当院脊椎手術患者227例を対象とした。年齢は5～80(平均56.7)歳である。疾患は頸椎疾患139例(頸椎性性脊髄症20例，椎間板ヘルニア12例，脊髄腫瘍28例，後縦靭帯骨化症27例，リウマチ性環軸関節亜脱臼26例，転移性脊椎腫瘍7例他)，胸椎疾患32例(脊髄腫瘍9例，黄色靭帯骨化症6例，側弯症4例他)，腰椎疾患56例(腰部脊柱管狭窄症37例，腰椎椎間板ヘルニア11例，脊髄腫瘍6例他)である。

術前全例手術中誘発電位を導出しモニタリングを行うことを本人に説明し同意を得た。

#### 2. 方法

咽頭電極は共著者の山本の発案・開発した6Fのnasal tubeに7極の白金電極を電極間距離0.8cmでコイル状に装着したもの(ユニークメディカル社製，東京)(Fig. 1)である。全身麻酔下気管挿管後，咽頭電極を鼻腔より挿入し，記録電極として用いた。

咽頭電極記録の際には7極のうち2極の電極を選択し，尾側電極を探索電極とし，頭側電極を基準電極とした。体性感覚誘発電位SEPの記録にはコイル状針電極を経皮的に刺入した。刺激電極には手関節部で正中神経直上に電極間距離3cmで設置した表面電極と，麻酔導入後胸椎硬膜内に経皮的に17Gの硬膜外針を用いて設置した2極カテーテル電極UKG-100-2PMW(ユニークメディカル社製)を用いた。各種SEPは正中神経を強度20～40mA，頻度7.1～27Hz，持続時間0.2msecで刺激し，記録条件は

周波数帯域2Hz～2kHz，加算回数1,000回とした。

上行性脊髄刺激-咽頭電極記録誘発電位 ascending nasopharyngeal spinal cord evoked potential (NP SCEP)の導出には，脊髄を強度20mA以下，頻度7.1Hz，持続時間0.2msecで刺激した。

刺激と記録にはNICOLET社製VIKING IIを使用した。

#### 1) 咽頭記録SEPと頭蓋記録SEPの比較(n=26)

咽頭記録SEP(NP-NP SEP)，頭蓋上-耳朵間 ipsilateral parietal SEP(C3-A1 SEP)，両側の頭蓋上間 parietal SEP(C3-C4 SEP)，咽頭電極-非頭部基準電極間SEP(NP-NC(刺激対側肩)SEP)を導出し，それぞれの波形成分の形態と頂点潜時について比較した(頭蓋上電極設置位置については国際脳波10-20法に準じる)。統計学的手法はFisherの直接確率計算法を用い， $p < 0.01$ を有意差ありとした。

頭蓋記録における早期大脳皮質成分とNP-NP SEPを比較した。基準電極を刺激同側耳朵とし，頭蓋の記録電極をF3，C3，P3，O1，F4，C4，P4，O2に設置し同時に導出された ipsilateral parietal SEPの波形とその頂点潜時についてNP-NP SEPと比較検討した。

#### 2) 高頻度刺激下におけるNP-NP SEPと parietal SEPの電位変化の比較(n=11)

刺激頻度7.1Hzに対し27Hzの高頻度刺激を行い，NP-NP SEPとC3-C4 SEPの振幅への影響を検討した。統計学的手法はMann-WhitneyのU検定を用い， $p < 0.01$ を有意差ありとした。

#### 3) 咽頭電極設置位置によるNP-NP SEPの検討(n=6)

電位の発生源と思われる部位から記録電極の位置を変更することにより導出される波形の振幅の変化を比較するために，後咽頭に設置した咽頭電極を頭側に3cm引き出して前方へ移動し，その位置でのNP-NP SEPを導出し，n1とn2の振幅の変化をN20と比較した(Fig. 6)。探索電極は咽頭電極の最尾側電極とし，基準電極は最頭側電極とした。統計学的手法はMann-WhitneyのU検定を用い， $p < 0.05$ を有意差ありとした。

#### 4) 咽頭電極記録電位(NP-NP SEP(n=7)，ascending NP SCEP(n=4))の inchingによる波形変化の検討

7極ある咽頭電極を用いて inchingを行った。基準電極は最頭側電極とし，探索電極を最尾側から順に1つずつ頭側の電極へ移動しそれぞれの電位を導

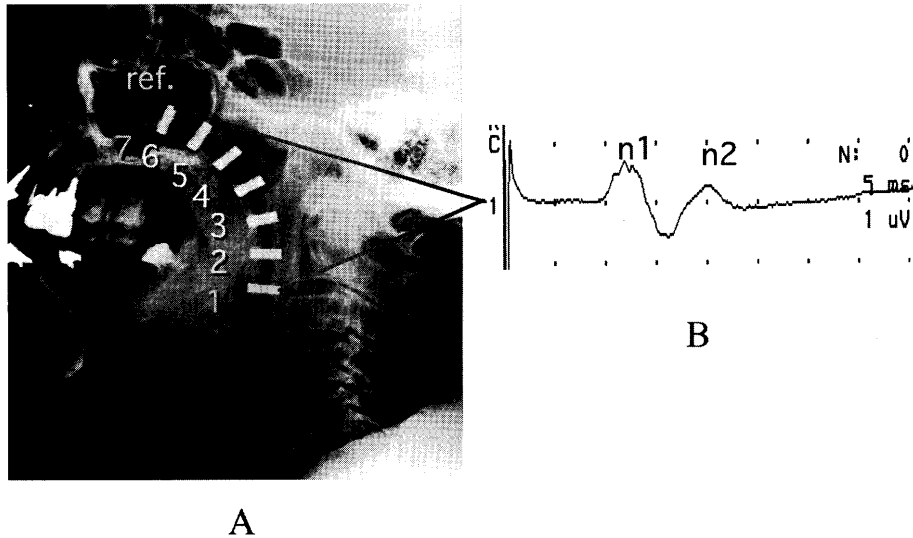


Fig. 2 咽頭電極を設置した状態の単純 X<sub>p</sub> 側面像 (A) と NP-NP SEP の基本波形 (B) 2つの陰性波が導出された。

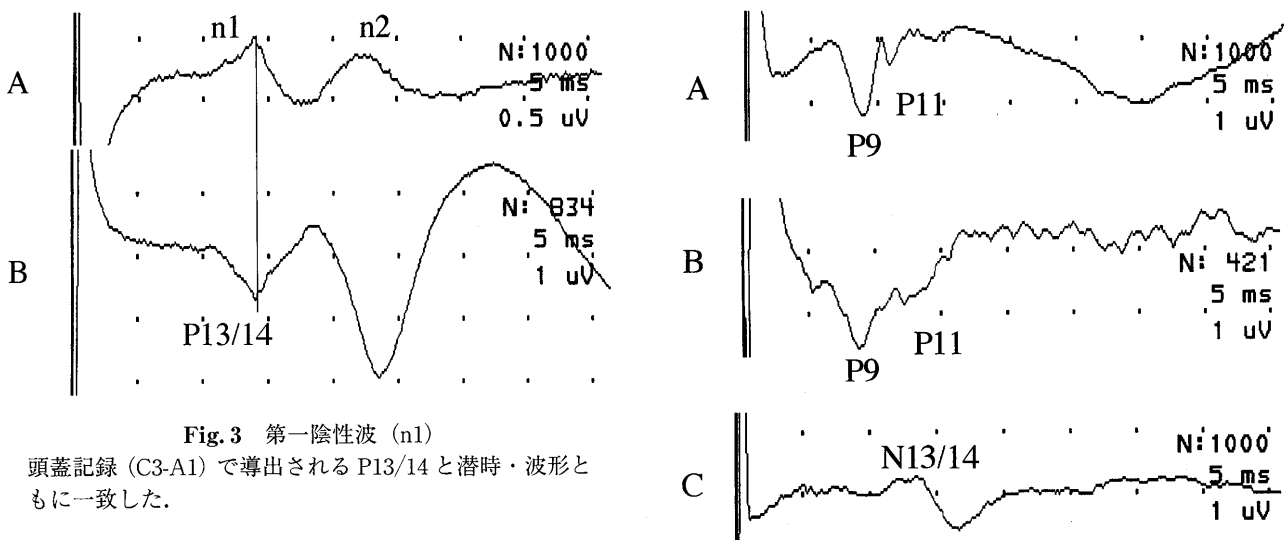


Fig. 3 第一陰性波 (n1) 頭蓋記録 (C3-A1) で導出される P13/14 と潜時・波形とも一致した。

Fig. 4 NP-NC SEP で導出された P9・P11・P18

A: 探査電極を最尾側, 基準電極を刺激対側肩とした。  
B: 探査電極を最頭側とし, 同様に記録した。C: NP-NC SEP の双極誘導では FFP は subtraction され N13/14 が出現する。

出した。NP-NP SEP と ascending NP SCEP の波形成分の振幅や潜時の変化より電位起源を検討した。

5) Ascending NP SCEP の電位変化と術後神経症状の関係

Ascending NP SCEP を用いて頸椎胸椎手術 (n = 227) の術中脊髄機能モニタリングを行った。最終電位振幅がコントロール波形の 50% 以下に低下を認めた場合を有意変化ありと判断した。電位変化のあった症例で術後神経症状の増悪した例を true positive (TP), 増悪しなかった症例を false positive (FP) とし, 同様に術中変化がなく術後神経症状の変化もなかった症例を true negative (TN), 術後神経症状の増悪した症例を false negative (FN) とした。

これらの結果より sensitivity と specificity を算出した。

## 結果

### 1. 咽頭記録 SEP と頭蓋記録 SEP の比較

#### 1) NP-NP SEP の基本波形

咽頭電極から 2つの陰性波が導出された (Fig. 2)。

#### (1) 第 1 陰性波 (n1)

頂点潜時 11.5~17.6 (平均  $13.7 \pm 1.3$ ) msec の n1

NP-NP SEP

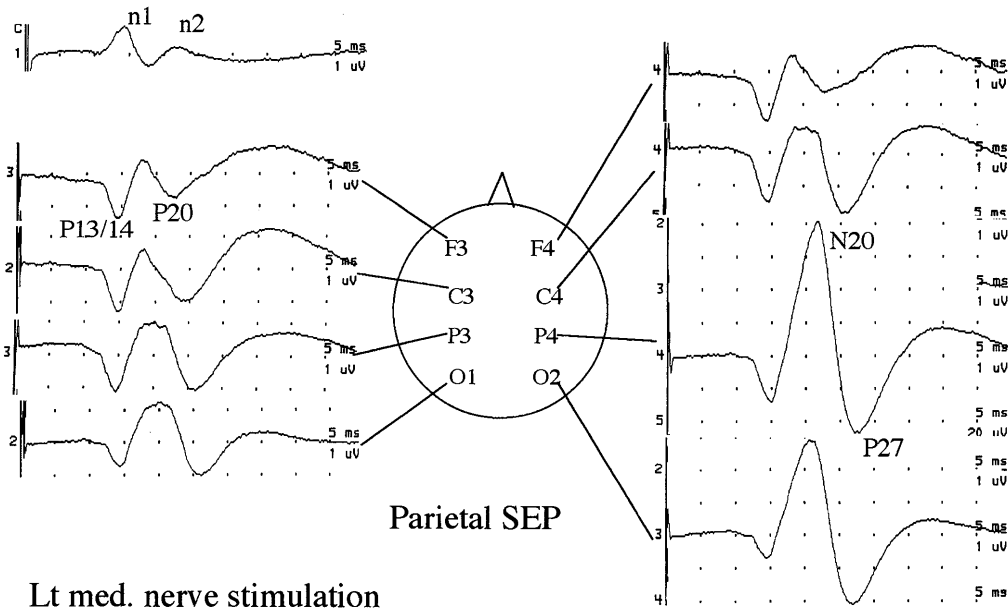


Fig. 5 第二陰性波 (n2)

刺激同側耳朶を基準電極として頭蓋上から導出した各種 SEP と NP-NP SEP を比較すると n2 は N20 の波形・頂点潜時と一致した。

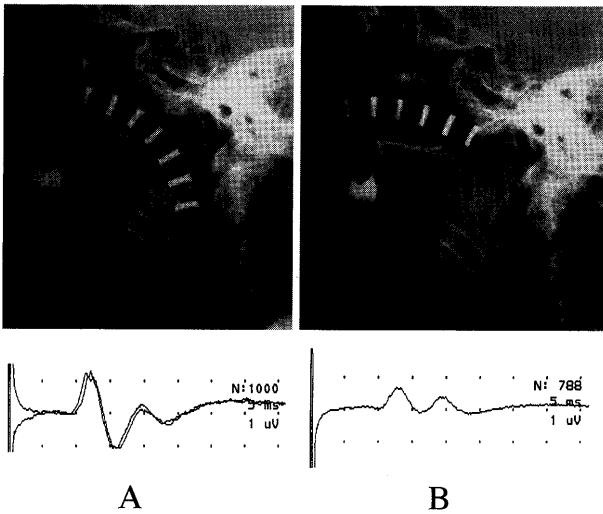


Fig. 6 咽頭電極を設置した単純 Xp 側面像 (上) とそれぞれの条件下での NP-NP SEP (下)

A: 通常の設定位置, B: 咽頭電極を A から 3cm 引き出した状態である. n2 に対し n1 の振幅は大きく低下した。

とこれに続く陽性波を導出した。これは、耳朶を基準電極とした頭蓋記録の far field potential (FFP) である P13/14 と潜時・波形ともにほぼ一致した (Fig. 3)。

また NC ref. を基準電極とした NP-NC SEP では

FFP である P9・P11・P18 等が導出された (Fig. 4)。

(2) 第 2 陰性波 (n2)

頂点潜時は 18.5~25.9 (平均  $21.8 \pm 1.7$ ) msec であり、34 例 (約 28.8%) では導出されなかった。頸髄病変のある症例の出現率は 40.5% に対し、病変のない症例の出現率は 62.5% であったが、両者に有意差 ( $p = 0.054$ ) は認められなかった。

NP-NP SEP の n2 は、刺激対側後方から導出される早期皮質成分の中で最も振幅が大きい中心後回から前方へ向かう N20 と、波形成分の形態と頂点潜時がほぼ一致した (Fig. 5)。

2. 高頻度刺激下における NP-NP SEP と parietal SEP の電位変化の比較

刺激頻度 7.1Hz に対し 27Hz の高頻度刺激を行ったところ、NP-NP SEP の n1 の振幅は平均  $10.9 \pm 13.4\%$  低下したのに対し、n2 の振幅は平均  $56.0 \pm 32.1\%$  低下した。n1 と n2 の低下率に有意差 ( $p < 0.01$ ) を認めた。また C3-C4 SEP の N20 の振幅は平均  $48.1 \pm 18.1\%$  低下した (Fig. 6)。

3. 咽頭電極設置位置による NP-NP SEP の検討

咽頭電極を頭側へ約 3cm 引き出すことにより、NP-NP SEP の n1 の振幅は平均  $49.2 \pm 15.2\%$  低下し、n2 の振幅は平均  $13.6 \pm 14.6\%$  低下した。n1 と n2

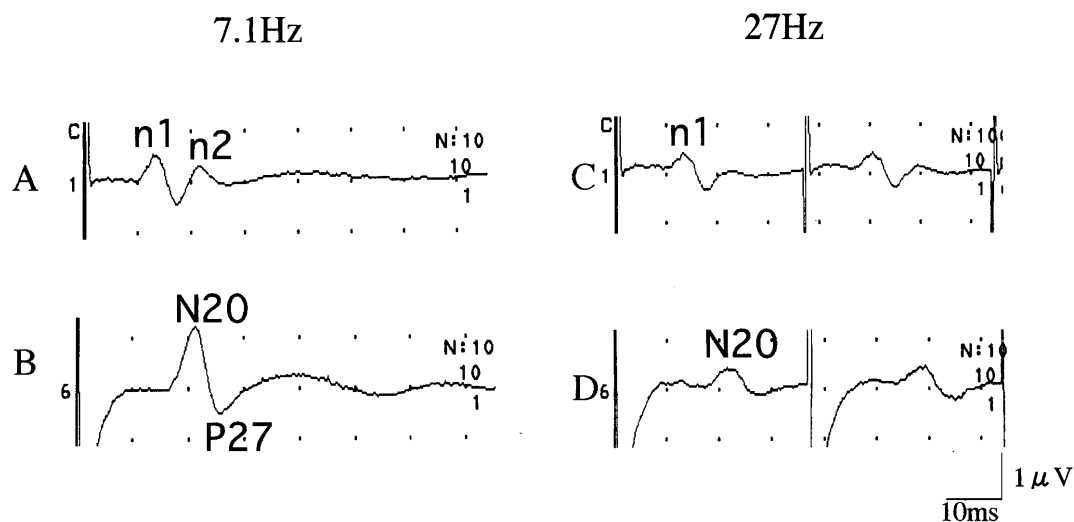


Fig. 7 高頻度刺激による振幅の低下率  
n1 に対し n2, N20 の低下率は高かった。

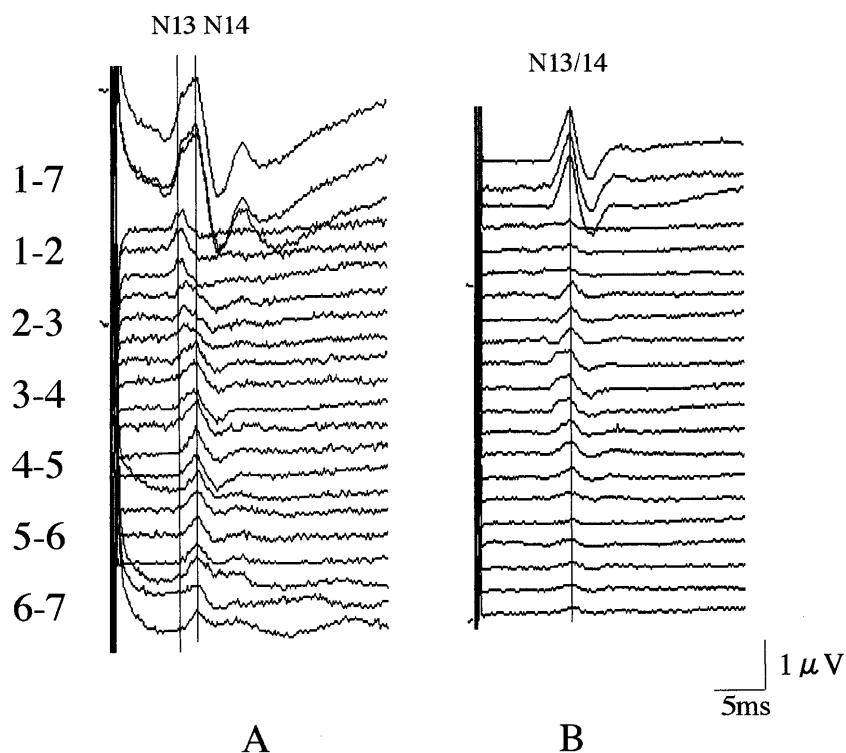


Fig. 8 記録電極の移動による波形の変化

症例 A：記録電極の移動により NP-NP SEP の n1 の潜時は変化しなかった。症例 B：記録電極が頭側に移動するにつれて n1 の潜時が延長した。n1 の頂点は小さな二峰性を示している。

の低下率に有意差 ( $p < 0.05$ ) を認めた。C3-C4 SEP の N20 の振幅は平均  $3.2 \pm 6.0\%$  低下した (Fig. 7)。

#### 4. 咽頭電極記録電位 (NP-NP SEP, ascending NP SCEP) の inching による波形変化の検討

NP-NP SEP の n1 は記録電極が頭側に移動するに

つれて頂点潜時が延長した症例が 3 例と、頂点潜時が延長しなかった症例が 4 例であった (Fig. 8)。

Ascending NP SCEP は神経症状がないか軽度な症例では 3 つの陰性波から構成されていた。第 1, 第 2 電位は記録電極が刺激部位から遠くなると共に潜

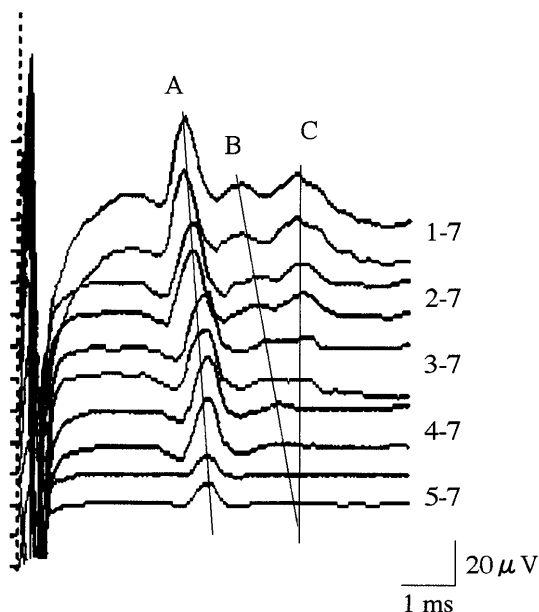


Fig. 9 Ascending NP SCEP の inching による波形変化  
第1, 第2電位は振幅の低下と共に潜時も延長したが  
(A, B), 第3電位は振幅の低下のみで潜時は延長しな  
かった (C).

時が遅くなり、脊髄から遠くなると共に振幅が小さくなった。さらに第3電位では振幅は低下するものの潜時はほぼ変化しなかった (Fig. 9)。

##### 5. Ascending NP SCEP の電位変化と術後神経症状の関係

Ascending NP SCEP では、227 例中電位の取れなかった 14 例を除く 213 例中 14 例で術中変化があった。術後 26 例で神経症状の増悪を認めた。術中変化と術後神経症状の関係は TP が 12 例、TN が 185 例、FP が 2 例、FN が 14 例であった。sensitivity は 46.2%、specificity は 98.9% であった。

##### 考 察

正中神経 SEP の起源については頭蓋記録の研究が進んでおり特に短潜時 SEP では諸家の報告があり、P9 は容積導体の変化に伴う junctional potential もしくは腕神経叢を起源とする FFP、また P11 は後索、P13/14 は延髄内側毛帯<sup>3)</sup>、P18 は楔状束核を起源とする FFP とされている<sup>4)~7)</sup>。咽頭記録電位の報告<sup>7)</sup>では Desmedt らは P9, P11 に続く陰性波を記録し、これを N14 として P14 の NFP と報告している<sup>8)9)</sup>。

今回咽頭電極記録により肩を NC として咽頭電極を探查電極とする単極誘導では、P9・P11・N18 等の FFP が得られた。双極誘導とする NP-NP SEP

では 2 つの陰性波が得られたが、そのうち第 1 陰性波 n1 は頂点潜時が約 14 msec にあることや、その起源とされる延髄の前方に電極が設置されていること、波形成分の形態がほぼ一致することから、P13/14 の極性の逆転した電位と考えた。n1 の起源が P13/14 と同様の延髄内側毛帯であるとする、記録電極の移動により頂点潜時は延長しないはずであるが半数の症例で延長した。

P13/14 は複合電位であり<sup>10)</sup>、その頂点は小さな 2 峰性を呈しており (Fig. 8A)、咽頭電極の尾側双極導出では P13 成分が記録され、頭側双極誘導では P14 成分が記録されるものと考え、潜時は変化せず n1 は伝導性電位でなく延髄起源のシナプス後電位であることに矛盾しない。

第 2 陰性波 n2 は、頻回刺激による振幅低下率が n1 より大きい傾向 ( $p < 0.01$ ) があり、その経路により多くのシナプスを介する電位と判断した。また咽頭電極を頭側へ引き出すと、延髄-電極間距離は大きくなるが、一方大脳皮質-電極間距離の変化は小さい。n1 の振幅は著しく低下するが、n2 の振幅変化はわずかであったことは n1 の起源が延髄にあり、n2 の起源が皮質にあることを示唆している。

早期皮質成分中、N20 は中心後回から発生し前頭部へ向かう最大の電位である<sup>11)</sup>。n2 頂点潜時は 20~22 msec であり N20 に一致すると考えられた。電位の導出頻度が約 71.2% と n1 に比して低いのは、記録電極と電位の発生源との距離が遠いためではないかと考えた。

Ascending NP SCEP では、inching により、第 1, 第 2 電位の潜時が変化し、振幅が低下することから、近接電場電位 near field potential (NFP) である伝導性電位が得られるていると考えた。これに対し第 3 電位では振幅は低下するが潜時はほぼ変わらないことから、伝導性電位ではなく延髄で発生するシナプス後電位ではないかと考えた。

Ascending NP SCEP の sensitivity は 46.2% であるが、specificity は 98.9% と高く、電位変化があった場合の信頼性は高いが、術後の motor の障害を捉えられない場合があった。硬膜外カテーテル電極を用いた脊髄刺激-脊髄記録電位の脊髄内伝導路は n1 が側索、n2 が後索とされ、主に感覚路の機能を反映しているといわれている<sup>12)</sup>。Ascending NP SCEP の刺激方法は従来の脊髄電位と同様であり、運動機能を直接評価することには限界がある。

しかし、頭頸移行部に記録電極が設置できること

により従来の硬膜外カテーテル電極では不可能であった上位頸髄を含めた頸髄全体のモニタリングが容易に可能となった。近年経頭蓋刺激の motor evoked potential が上位頸髄のモニタリングに用いられているが、術中の麻酔薬の制約があり、一方、咽頭電極を用いた誘発電位は麻酔薬の影響も少なく、頭頸移行部を含めた頸髄のモニタリング法の有用な選択肢となる。

Ascending NP SCEP で評価不可能な神経根の機能評価には NP-NP SEP が有用である。両者は同一の咽頭電極から記録可能であり、多元的なモニタリングの1つとなると考える。これらの上行性誘発電位と咽頭電極刺激の下行性脊髄誘発電位を多元的に導出することにより、脊髄全横断面の評価が可能である。

### 結 論

1. 正中神経刺激咽頭電極記録 SEP で2つの陰性波が記録された。その第1陰性波は、延髄内側毛帯を起源とする P13/14 の逆転した電位であり、第2陰性波は、頭蓋記録の N20 と起源を同一とする電位であると考えられた。

2. 脊髄刺激咽頭記録 SCEP の第1, 第2陰性電位は、伝導性電位であり、第3電位は延髄のシナプス後電位と考えられた。

3. NP-NP SEP と ascending NP SCEP は、頭頸移行部を含め頸髄の術中脊髄ならびに神経根機能評価の指標となる。

### 文 献

- 1) 山本直也, 大武修一郎, 伊藤達雄ほか: 経鼻咽頭電極を用いた頭頸移行部手術の術中脊髄モニタリング. 日脊椎外会誌 **10** (1):56, 1999
- 2) 大武修一郎, 山本直也, 伊藤達雄: 経咽頭脊髄刺激による脊髄誘発電位の基礎的研究—脊髄内伝導路について—. 東女医大誌 **72** (5・6):161-169, 2002

- 3) Restuccia D, Di Lazzaro V, Valeriani M et al: Origin and distribution of P13 and P14 far-field potentials after median nerve stimulation. Scalp, nasopharyngeal and neck recording in healthy subjects and in patients with cervical and cervicomedullary lesions. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **96**: 371-384, 1995
- 4) Sono M: Anatomic origin and clinical application of the widespread N18 potential in median nerve somatosensory evoked potentials. *J Clin Neurophysiol* **17** (3): 258-268, 2000
- 5) Takada T, Denda S, Baba H et al: Somatosensory evoked potentials recorded from the posterior pharynx to stimulation of the median nerve and cauda equina. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **100**: 493-499, 1996
- 6) Wagner W: SEP testing in deeply comatose and brain dead patients: the role of nasopharyngeal, scalp and earlobe derivations in recording the P14 potential. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **80**: 352-363, 1991
- 7) Wagner W: Scalp, earlobe and nasopharyngeal recordings of the median nerve somatosensory evoked P14 potential in coma and brain death: detailed latency and amplitude analysis in 181 patients. *Brain* **119**: 1507-1521, 1996
- 8) Tomberg C, Desmedt JE, Ozaki I et al: Nasopharyngeal recording of somatosensory evoked potentials document the medullary origin of the N18 far-field. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **80**: 496-503, 1991
- 9) Noel P, Ozaki I, Desmedt JE: Origin of N18 and P14 far-fields of median nerve somatosensory evoked potentials studied in patients with a brainstem lesion. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **98**: 167-170, 1996
- 10) 黒岩義之, 園生雅弘 (編著): 臨床誘発電位ハンドブック, pp116-137, 中外医学社, 東京 (1998)
- 11) 園生雅弘: 正中神経刺激 SEP 早期皮質成分の起源とその大脳皮質局在性病変からの検討. *臨神生* **28**: 303-313, 2000
- 12) 今井卓夫: 硬膜外腔脊髄刺激による誘発脊髄活動電位について. *日整会誌* **50**: 10374056, 1976