綜

説

電 気 麻 酔 に つ い て

鈴 木 賢 策

東京医科歯科大学 第三歯科保存学教室

(昭和42年4月15日受付)

Electro-Anesthesia

Kensaku Suzuki

Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry,
Tokyo Medical and Dental University

1. はじめに

沢山の麻酔剤、諸々の麻酔術式があるが、手放しで安心して使用出来る麻酔剤も麻酔術式もまだない。さらに安全な薬剤や術式を求めて各方面に渉る研究が続けられておるが、薬剤によらず、電流の刺激作用やその抑制作用により局所または全身麻酔を起さんとする電気麻酔の研究もその1つの試みである。

電流の刺激作用に関する研究は、いわゆる刺激生理学の根幹をなし、多方面にわたる研究があり、他のいかなる刺激も、作用の根本は、イオンの動きとして、電氣的に働くものとされており、電気刺激は、生体に最も副作用が少なく、有効に働く刺激であると考えられており、刺激作用と表裏一体をなす刺激抑制作用についても同様のことが云いうる。

従つて電気麻酔の研究は副作用のない、麻酔の発現も、覚醒も速かな術式の実現を目指している。生体内部では、目指すところに適當の強さの電流を送ることが難しく、また刺激作用も阻止作用も

同時に惹起されるので、通流の方式にいろいろの工夫が必要になる。

最近北米の一部に、再び電気麻酔の研究を進める人々が出て来て、人の乳房切除や開腹手術などにも試み成果をおさめ人体応用について慎重な検討を続けておるとのことである。

これらの電気麻酔は、意識の喪失を伴う全身麻酔で、Electro-narcosis, Electrical-general anesthesia と呼ばれるものである。

その作用機序については、大脳を電氣的に頻回に刺激し、末梢よりの興奮を受取り難くすることのように考えており、電流の刺激作用を重視しておるようである。

著者は1950年に、手術器械を直流電源の陽極に継ぎ、手術器械に電導子の役を兼ねさせて、人体に微弱な平流(4~20 μ A)を通電しながら手術し、手術時の痛みを除く、電気麻酔を試みておるが、その作用機序は、直流の通電中、陽極ならびにその附近の神経の興奮性を低下させる、陽極電気緊張によるものとしておる。

従来多くの電気麻酔 Electro-narcosis では、断

続する直流や交流正弦波などが用いられており、電流の強さも、著者の用いた電流値の百倍より千倍以上にも及んでおり、通電を長期間にわたり持続するなど異つた作用機序によるものの如く思われる。

最近 R. H. Smith (1961) ならびに共同研究者は、交流の矩形波に直流を重ねあわせて基線より上げた直流を用いて、刺激作用の少ない電気麻酔に成功し、外科における麻酔テストは、Mississippi 大学ならびに南加大学で続行中と聞く。これらの作用機序はむしろ電流の刺激防止または、刺激打消作用によると考えて見ても差支えないように思われるので、従来電気麻酔に用いられた電流、通電術式やその成果を顧みて、歯科小手術に対する電気麻酔の改善の縁としたい。

II. 麻酔に用いられた電流

電流による局所麻酔を最初に試みた人は、Benjamin Franklin (1706~1790)²⁾ であると言われている、その凡そ百年後に Benjamin Ward Richardson²⁾ が直流を用いる麻酔を試みておる。陽極板を aconite 丁幾、aconite 抽出液またはクロロホルムで浸して通電すると陽極附近に軽度の知覚麻痺が残ることを認め、Voltatic anesthesia と名付けた。電流の刺激で血流が盛んになり陽極部に浸した薬剤の吸収を容易にするためと考えておつた。次いで、1858年に Philadelphia の歯科医 J. B. Francis²⁾ が電流のみの局所麻酔を試みた。直流電源の陰極を抜歯鉗子に継いで、陽極を患者に握らせて、直流を送りながら抜歯を行つた。今日の見解では陰極抑圧作用を用いたものであり、多くの例で強い電気ショックを与えたようである。電流の強さやその術式の詳細は不明である。1890年に D'arsonval が高周波のある波長のものに麻酔効果のあることを発表し、ついで断続する直流の矩形波に、麻酔作用があるとする Hutchenson (1892), Pompilion (1901), Leduc (1902)²⁾ などの人々が出て、電極をひたいと脊部、またはひたいと後頭部に継いで、動物について全身麻酔を試みた。

Leduc の電流は毎秒 100 回断続する直流で、通流時間と断流時間の比が 1:1 の矩形波であり、このような電流で繰返して中枢を刺激すると全身麻酔が起るものと考えたようである。この種の低周直角脈電流は後に電気睡眠にも用いるようになったが、全身麻酔としては刺激作用が強く成功しなかつた。

またリズミカルの電気刺激で意識を固定して他をかへり見ることを防止して麻酔を起すものとする考えから 50~60 c/s の交流の正弦波 (Frostig)⁵⁾、700 c/s の交流を用いた人もある (Knuston)⁵⁾。体表より頭蓋内部に電流を送る場合、電流は主に抵抗の少ない骨の欠損部の孔部を通る、必然的にこの部分の電流密度は大きくなる、このような部分は神経系の通路になっており、麻酔効果には通流に伴う発熱作用も無視出来ない。

ところが Anan'ev⁵⁾ ならびに共同研究者 (1957) は Leduc 電流を用い、電導子を頭部に固定して、初めの 10 分から 15 分間 1 mA の通電を続けて動物を鎮静させ、その後に次第に電流の強さを増して、6 mA から 7 mA にすると皮膚は無痛状態になり、皮膚や筋肉の外科手術が出来るようになり、9 から 12 mA に漸増すると、開腹手術も出来るようになる。さらに電流値を増すと筋肉は弛緩し、血圧、血糖値などにほとんど変動を見ずに、深麻酔状態に達せしめることが出来るとした。

また、Leduc の弟子の Rivanovitch (1910) は Leduc 電流で局所麻酔を試みておつた。神経の通路に近い皮膚上に電導子をあて、4~6 mA の通電を行つて、人の足の指の切断を行つた。この術式は神経幹が体表の近くにあるところでは有効で、深部にある場合は電流の刺激が強く起つて効果がなかつたとされた。1933 年に Hess が追試を行つて全く無効とされ、同じ頃ロシアの Kalendaroff は有効に働くとし、結果は区々ではあるが、Rivanovitch の術式では電流値が可成り大きいのでその麻酔効果は陽極電気緊張によるものか陰極抑圧作用によるものか不明であるが電流により神経の伝導を遮断したものとし、深部では術者の意図する電極と反対の電極が発生して、予期に反した電流の刺激

作用が見られたものと考えたと理解しやすい。これらのことから Electro-narcosis を通電により第 3 neuron の興奮の伝導やその応答を阻害するものと考えて見てもよいようである。

Smith, R. H.^{5,6)} (1961) などの用いた電流は、図の実線の如き交流の矩形波 100 c/s に直流を重ね

図 Smith R. H. の用いた電流. 実線は 100 c/s の交流矩形波, (A, B) 点線は直流重畳による直流矩形波, 通流期 C : D はそれぞれ 2 msec, 8 msec である。

あわせた点線の直流の矩形波であり、CとDの通流期間は2:8とするものであり、眼窩または鼻梁に陽極を当て、後頭部に陰極をあてて固定して、初めに直流を通電して1-2秒間に0から20 mAまで強める、次に交流の矩形波を加えて、1-20秒毎に、1 mA づつ交流の附加を増し、5ないし6 mA で動物は麻酔状態に達し、脈搏、血圧、呼吸にも変りがないとのことである。

漸増性直流による電気麻酔の試みは、F. Schminzky, Hochstädt, P. Adler (1936)⁷⁾、本邦でも土屋、長谷川⁹⁾ (1946) などの試みがあるがこのような結果は得られていない。

Smith らの術式で初めの1ないし2秒間、可成り強い漸増性直流を送つて間髪を入れず、低周波交流矩形波を送るところに妙味があるようである。すなわち直流に低周波交流矩形波を重ね合せることは直流の麻酔効果を阻害する因子を除くに効果があるように考えられる。

III. 電気麻酔と陽通電

種々の強い刺激が如何なる機序によつて神経の自由終末を興奮させ痛みが起るかについては充分明かでない。Rosenthal, Minard (1939) は強い刺激で組織中に histamine が出来て、これが神経の自由終末枝に直接に作用して興奮させる、痛素と云うようなものを考えている。化学物質で細胞代

謝の酸化を抑制するものは総べて痛みを起す物質、痛素として有効であり、ことに異化性のグリコゲン分解過程 TCA cycle の脱水素酵素に作用する物質が痛みを起す物質として働くとされているが、全ての場合このような物質が出来て神経の興奮を起すものであるかどうかは不明である。しかしながら神経が刺激され興奮するとき正常の神経線維の膜の帯電状態が変化する。正常の状態では表面が正に帯電している。表面に比較して膜の内側が負に帯電されておる (100 mV)。刺激で神経の興奮が起るときには静止時の膜電位が降下して来る。Hodgkin によれば K^+ が細胞体内より組織液中に出て行き、そこに多量にある Na^+ が細胞内に入つて行き膜の帯電が正常と変つて来る。このような膜の帯電状態を分極と呼んでおるが、分極が無くなりさらに帯電状態が逆になつたりする。これを脱分極と云い、脱分極が一定程度起ると局部に電流が起る。

正常部より脱分極部に電流が流れる。すなわち外より内部に向う電流である、膜の内部では脱分極部より正常部に電流が流れて、正常部では内より外に電流が流れる。この外向の電流は表面より陰極を当て電流を流したことになり、神経の興奮を起すように働き、正常部に脱分極が起り興奮する。内向の電流は陽極を当て通電すると同じ電流で、脱分極が回復するように働くだけでなく膜を丈夫にして、すぐには脱分極が起らないようにするので、そこで先に興奮が起つた部位が再び外向の電流で脱分極を起すことなく興奮は末梢より中枢に伝導するとされている。すなわち逆向に興奮が伝わらないのは内向の電流で膜が一定時間刺激に応じない状態を呈するためだとされている。膜電位は 100 mV 程度であるので神経線維でも比較的弱い電流の陽通電で神経の伝導を遮断させることが出来ることになる。

著者の電気麻酔は陽通電で膜電位を回復したり、脱分極を防ぎ、神経の刺激されることを防ぎ痛みを防止するのであるが、局所麻酔薬の作用機序については幾つかの仮説がある。その1つには神経の表面に麻酔剤の陽イオンがついて脱分極を

防止するものがある。Davson は麻酔剤は K^+ に対する透過性は増加するが、 Na^+ の透過性は完全に阻止するため脱分極は起さないとしている。Fleckenstein (1950) は麻酔剤の本態も電気的なものと考えて神経の興奮を陽極電気緊張で阻止また伝導遮断する Anelectrotonica と、脱分極を行って回復を妨げて再び刺激が加わっても興奮が起らない状態にする、すなわち強い陰通電を行って陰極抑圧を起した状態で働く Katelectrotonica に分けておる。Novocain, Tutocain, Cocain など真性麻酔剤は Anelectrotonica であり、神経線維に Katelectrotonica にあたる Veratrin で完全に伝導遮断が起った場合、200 倍の Tutocain 液中で浸漬すると膜電位は回復して再び興奮伝導が起ることを見ており、多くの真性麻酔剤は直流の陽通電と同じ作用機序であるとしておる。すなわち陽通電には刺激打消作用や刺激阻止作用がある。

閾上の瞬間的電流刺激を運動神経または筋に加えてから短時間内に反対方向（陽極性）のある強さの瞬間的電流を刺激した部位に流せば神経の興奮も筋の攣縮も起らなくなる。すなわち第1の電流（陰通電）で引き起す興奮が方向の反対の電流で阻止される。このような作用を刺激打消作用と云われる。（坂本⁴⁾, Dittler: Reiz verteidigende Wirkung, stimulus-protecting action) また電流の刺激に先だち短時間前に反対の方向（陽通電）のある強さの瞬間電流を刺激する部位に流しておくことと刺激による興奮が起らなくなる。この作用は刺激阻止作用（坂本⁴⁾）と名付けられておる。人の歯の痛覚器について中沢⁴⁾の発表があり、人の皮膚痛覚器について昭和29年に小西¹⁾の発表がある。小西によれば、刺激打消では刺激にすぐひきつづき反対の電流を送って刺激打消の出来る時間は0.13 msec で、速ければ速いほど良く、0.098 msec, 約1万分の1秒後では初めの電流の強さの40%の反対電流で当然刺激になるものが刺激にならなくなる。期間0.13 msec 約8000分の1秒後になると2倍の強さの反対電流を送らねばならないとしておる。刺激防止では予め24.7 μ sec 閾値の70~80%の反対電流を送れば7 msec までは当

然刺激になる電流を通して刺激が有効にならない。はじめの電流の時間を少しのばして7~15 msec にすると阻止出来る時間が20 msec, 30 msec あるいはそれ以上に渉り持続する。そればかりでなく第2種の痛みが全く起らなくなることを見ておる。第2種の痛みとは Thunberg, Adrian, 山極らによると神経の終末器が刺激されて起るとされ、神経線維が直接刺激されて起るとする第1種の痛みより本質的の痛みと考えられている。

Audio analgesia や電気睡眠などの如く適當の刺激で意識をそらすようなことも麻酔に有効に働くのかも知れぬが、電流による中枢における興奮伝導の阻止や、その応答の阻止も否定出来ないようである。

V. おわりに

電流による全身麻酔ならびに局所麻酔について紹介を行つた。全身麻酔は動物実験の域を出ていないようであるが、近時エレクトロニクスの発達に伴い複雑な波型が簡単に得られるようになり、また組織の持つ容量や抵抗で波型のくずれを補正する平衡回路法の研究など装置や通電方法の改良で複雑な生体の任意の部位に自由に通電が行われる日も遠くはあるまい。頻回に使用してしかも副作用のない電流の刺激阻止作用を麻酔に応用することは症例数が多くまた繰返して用いられることの多い歯科小手術の除痛や麻酔に極めて興味ある問題であり将来益々研究を続行すべきものと考えられる。

文 献

- 1) 小西喜久治：皮膚痛覚器における slow process ならびに二重痛覚の問題，日本生理学誌，16：199-206，1954.
- 2) Longley, E. O. : Electric Anesthesia and Electroneurosis, J. Mental Sc. London, 95 : 51-79, 1949.
- 3) Mercus, M. J. : Electro Anesthesia, Medical Record, 23 : 709, 1910.
- 4) 中沢勇：歯の痛覚器を電氣的に刺激する実験の補遺，口病誌，16：1944.
- 5) Smith, R. H. : Electrical Anesthesia, Charis C. Thomas. Springfield, 1963.

- 6) Smith, R. H., Hylton, R. R., McCabe, J. R.,
Cullen, S. C. : Electrical Anesthesia Produced
by a Combinating of Direct and Alternating
Current, *Anesthesia & Analgesia*, 44 : 275-279,
1965.
- 7) 鈴木賢策 : 電気麻痺法による新しい象牙質除痛法,
口病誌, 19 : 2, 1951.
- 8) 鈴木正夫 : 電気治療 (低周直角脈波電流の生理と
応用) 文光堂, 東京, 1956.
- 9) 土屋重朗, 長谷川渙 : 動物における電気麻酔実験,
精神誌, 4 : 1946.