脊髄硬膜外麻酔法に関する実験的研究

IV. 副作用の検討

大塚 宏 光

宮崎大学農学部家畜外科学教室

(昭和43年11月15日受付)

硬膜外麻酔によって起こる副作用は、(1) 技術的なもの、(2) 局所麻酔剤によるもの、(3) 麻酔効果によるものに分けることができる。(1) はくも膜下穿刺による脊髄麻酔の発現、脊髄損傷および硬膜外血管穿刺、(2) は技術的な副作用に属する血管穿刺による麻酔剤の急性中毒と、硬膜外腔に投与された薬剤の吸収にもとづく中毒、(3) は呼吸筋支配の脊髄神経遮断にもとづく呼吸機能への影響と、交感神経遮断にもとづく血圧の下降などが考えられる。

技術的な副作用については、このような副作用が発生しないような手技の検討を行ない、安全度の高い硬膜外穿刺法を確立したことをすでに報告した^{2,3)}。したがって本報では、それ以外の副作用、すなわち呼吸機能および循環機能に及ぼす影響を、犬を用いて、筋電図および心電図学的に検討するとともに、血圧の変動をも追試した。

材料および方法

呼吸機能：あらかじめ Pentobarbital sodium (Nembutal) 20 mg/kg を静脈内に投与し、軽い全身麻酔の状態にある犬で、呼吸筋に及ぼす硬膜外麻酔の影響を観察した。対象筋は Mm. obliqui abdomines, Mm. intercostales および Diaphragm の3種で、第1報と同じ方法で筋電図を誘導した。また筋の活動電位を呼吸運動と対応させるために、呼吸気流曲線を記録した。すなわち、鼻端にゴム製マスクを装着し、その先端にビニール管を連結して、呼吸気流の一部を圧力変換装置に導き、呼息を陽圧、吸息を陰圧として、電流変化に変換、脳波計で筋電図と同時に記録した。保定は伏臥位とした。

循環機能：血圧は、無麻酔のままで頸部を切開

し、頸動脈を露出させて、カニューレーションを行ない、水銀マンオメーターに連結させ、直読した。

心電図は、随時、他の実験項目(第1報)の中に繰り入れて、脳波計で記録した。また、妊娠末期の犬を用い、硬膜外麻酔のもとで、実験的に帝王切開を施し、母体および胎児、新生児に及ぼす影響を心電図学的に検討した。なお、Pentobarbital sodium (Nembutal, Somnopentyl) 20 mg/kg を静脈内に投与した犬で、実験的帝王切開を施し、心電図を記録して、比較の対照とした。心電図の誘導にはエナメル被覆銅線を用い、先端の絶縁を剥がして皮下に埋め込み、高橋のA-B誘導⁵⁾とした。胎児心電図は、麻酔剤投与後、帝王切開を行なって得た胎児から、直接誘導した。新生児心電図は、胎児心電図を記録したのち、臍帯の連絡を断った状態で、ただちに記録した。母体の心電図と一腹子の心電図は、脳波計で同時に記録した。帝王切開はおよそ30°Cの室温で実施し、取り出した胎児および新生児は、温湯で適宜加温して、体温の下降を防いだ。

実験成績および考察

1. 呼吸機能に及ぼす影響

Chart 1において、最上段は呼吸気流曲線(P.T.G.)で、以下順次、心電図(E.C.G.)、および左側 Mm. obliqui abdomines, 左側 Mm. intercostales XI, 左側 Mm. intercostales VI, Diaphragm, 右側 Mm. intercostales VI, 右側 Mm. intercostales XI, 右側 Mm. obliqui abdomines の筋電図である。

Chart 1-(1)は、全身麻酔下における局所麻酔剤投与前の記録である。Diaphragmは吸息相に働くのであるが、この図では、振幅が大きく、持

Chart 1. Variation of Brust Discharge Pattern of Respiratory Muscles Following Epidural Injection of 2% Xilocaine Hydrochloride Solution (0.4 ml/kg of Body Weight) under General Anesthesia (Nembutal, 20 mg/kg of Body Weight)

(1) before injection of local anesthetics, (2) 7 minutes after injection, (3) 33 minutes after injection, and (4) 60 minutes after injection.

Remarks. Each trace shows, from upper to lower, P.T.G., E.C.G., left Mm. obliqui abdomines, left Mm. intercostales XI, left Mm. intercostales VI, diaphragm, right Mm. intercostales VI, right Mm. intercostales XI, right Mm. obliqui abdomines, and time scale (0.1 second).

続の短い叢放電が、その筋電図である。振幅が小さく、持続の長い叢放電は、電極の位置が胸壁に近いために混入した呼吸筋の筋電図である。左右両側の Mm. intercostales XI の筋電図には、Diaphragm と同じように、電極の位置の関係で、Mm. intercostales の筋電図以外に、Diaphragm の筋電図が混入している。また筋電図内にみられる棘波は、心電図である。軽い全身麻酔のもとでは、吸息期は短く、呼息期は長い。

Chart 1-(2) は、2% Xylocaine hydrochloride 液 0.4 ml/kg 投与後 7 分の記録である。Mm. obliqui abdomines と Mm. intercostales は全く活動を停止し、薬剤が T₆ 以上に及んでいること

を示している。しかし Diaphragm は正常に活動しているから、その効果は、Diaphragm を支配する N. phrenicus の脊髄レベル、すなわち C₆~C₇ まで達していないことがわかる。呼吸運動は、外観的には、この時期に、胸腹式呼吸から腹式呼吸に変わっている。図でみる通り、呼吸間隔は短縮しているが、規則的な運動が持続し、呼吸運動の失調は認められない。

Chart 1-(3) は、同じく 33 分後の記録である。Mm. obliqui abdomines はまだ活動を停止しているが、Mm. intercostales の活動が再現しはじめた時期である。Mm. intercostales VI の叢放電は、Mm. intercostales XI に比較して、放電

Chart 2. Variation of Burst Discharge Pattern of Respiratory Muscles Following Epidural Injection of 4% Procaine Hydrochloride Solution (0.4 ml/kg of Body Weight) under General Anesthesia (Nembutal, 20 mg/kg of Body Weight)

(1) before injection of local anethetics, (2) 15 minutes after injection, and (3) 46 minutes after injection.

Remarks. Each trace shows, from upper to lower E.C.G., P.T.G., diaphragm, Mm. intercostales VI, Mm. intercostales IX, Mm. intercostales XII, Mm. obliqui abdomines, and time scale (0.1 second).

密度が大きく、上行した麻酔効果が、下行性に回復している過程を示す。

Chart 1-(4) は、同じく60分後の記録である。この時期には、全身麻酔剤の作用からも解放され始めているので、全身的な震えが現われる。またどの筋の活動もきわめて活発となり、呼吸間隔も著しく短縮している。

Chart 2 において、最上段は心電図、以下順次、呼吸気流曲線、および Diaphragm と左側の Mm. intercostales VI, Mm. intercostales IX, Mm. intercostales XII, Mm. obliqui abdomines の筋電図である。

Chart 2-(1) は局所麻酔剤投与前、Chart 2-(2) は 4% Procaine hydrochloride 液 0.4 ml/kg 投与後 15 分、Chart 2-(3) は同じく投与後 46 分の

記録であって、Mm. obliqui abdomines の活動だけが抑制され、Mm. intercostales の活動が抑制されなかった例である。

このように麻酔効果が異なって現われている例において、呼吸数の推移を比較したのが Chart 3 である。Mm. obliqui abdomines の活動だけが抑制された場合では、投与前と投与後とでは、ほとんど変化が認められない。しかし、Mm. intercostales の活動まで抑制されると、呼吸数がかなり増加する。時間の経過とともに、Mm. intercostales の活動が再現すれば、呼吸数は投与前とほぼ同じ頻度まで回復する。すなわち、Mm. obliqui abdomines だけが活動を抑制された場合、軽い全身麻酔のもとでは、単位呼吸量にはなんら影響はない。Mr. intercostales も同時に抑制され

た場合には、単位呼吸量が減少する結果、呼吸頻度が代償的に増加して、分時呼吸量が維持されることがわかる。硬膜外麻酔時における呼吸運動の代償は、Chart 1-(2) で明らかなように、主として Diaphragm の吸息性活動の増大によって維持されるとみられるが、他のいわゆる補助呼吸筋の動員も考えられる。したがって硬膜外麻酔で問題となる末梢性の呼吸運動の失調は、Mm. inter-

costales の麻痺による腹式呼吸型への移行という程度で、致命的な呼吸運動の失調は起こらないものと考えてよい。

全身麻酔を施す際には、食物で充満した胃が Diaphragm を圧迫することを防ぎ、円滑な呼吸運動を維持させるために、あらかじめ絶食させるのが常識である。Diaphragm の活動に依存する腹式呼吸型をとる硬膜外麻酔では、とくにこの点に留意すべきである。

2. 循環機能に及ぼす影響

a. 血圧: 4% Procaine hydrochloride 液および 2% Xylocaine hydrochloride 液 0.4 ml/kg をそれぞれ投与した場合の各 1 例を Chart 4 に示す。2% Xylocaine hydrochloride 液投与例では、投与してから数分間に、およそ 25 mmHg 前後の血圧下降がみられたが、その後は急速に上昇して、麻酔の持続中、ほぼ投与前の血圧が維持されている。

硬膜外麻酔によって起こる血圧の下降は、交感神経が遮断されるために、末梢血管が拡張することによるとされている。人体において観察された本麻酔による血圧下降の原因は、西邑¹⁾によれば、250 例の中で 50 例に、術前の 20% 以上の下降がみられ、そのうち 30 例は手術中の出血や poor risk によるものであるから、麻酔そのものによる低下は 20 例である。100 例について STARR の式で計算すると、25% 以上の血圧下降が認められたものが 20% であり、このうち 6 例 (30%) では心拍出量の減少、18 例 (90%) では末梢抵抗の減少が著明であったと述べられている。さらに、頻脈、遮断されない部分の血管収縮、心拍出量の増加などの代償性作用が著明に起こり、低下した血圧が正常範囲内に保たれるようになることが指摘されている。

本実験で観察した血圧の変動は、Chart 4 に示した Xylocaine 投与例を除いては、非常に少ない。犬では、前述のような代償作用がとくに強いのか、局所麻酔剤浸潤の範囲およびその部位の関係によるものか明らかでないが、いずれにしても血圧に関しては、とくに留意する必要はなからう。

b. 心電図: 4% Procaine hydrochloride 液および 2% Xylocaine hydrochloride 液 0.4 ml/kg をそれぞれ投与した場合の各 1 例について、心電図の経時的な記録を Charts 5, 6 に示した。Chart

Chart 3. Variation of Respiratory Frequency in Two Cases Shown in Chart 1 (Upper) and Chart 2 (Lower)

Chart 4. Variation of Blood Pressure Following Epidural Injection of Anesthetics.

Chart 5. E.C.G. Pattern Following Epidural Injection of 4% Procaine Hydrochloride Solution (0.4 ml/kg of Body Weight)

Chart 6. E.C.G. Pattern Following Epidural Injection of 2% Xylocaine Hydrochloride Solution (0.4 ml/kg of Body Weight)

Chart 7. Variation of Heart Rate (Per Minute) in Two Cases Shown in Chart 5 (Lower) and Chart 6 (Upper)

7 は、同じ個体の心拍数の推移を、グラフで表示したものである。局所麻酔剤を投与してからおよそ10分間は、心拍数が増加する。この時期を過ぎると、投与前の値またはそれ以下に減少する。この状態はその後数十分持続し、ついでふたたび増加の傾向をたどる。

投与後にみられる一過性の増加は、麻酔効果が発現し、駐立姿勢において、後軀が動揺しはじめてから崩壊するまでにみられる現象である。その後の安定した状態は、麻酔にはいつて安静位を保っている時期であるから、明らかに姿勢の崩壊と関係している。試みに、この時期に、人為的に駐立を強制してみると、Chart 7 (45 分値) に示すように、一時的な心拍数の増加が起こる。

おのおのの棘波のなかで、とくに R および T 波の振幅が動揺する時期があるが、いずれも体位の変化と一致しており、電極位置と心臓位置の相対的变化にもとづくものである。したがって心電図の波型には、全く異常がないといえる。局所麻酔剤が血管内に吸収されると、心筋に働いて、刺激の伝導や収縮力を低下させるといわれている。⁶⁾しかし、この程度の投与量では、脈管内に吸収された局所麻酔剤が、心臓機能を障害するような作用は起こさないと考えてよい。

c. 帝王切開時における母体および胎児・新生児の心電図：硬膜外麻酔法が臨床上最も威力を発揮するのは、帝王切開術である。よって、投与された麻酔剤の影響を、心電図を示標として検討した。

Chart 8-(1) は、4% Procain hydrochloride 液 0.4 ml/kg を硬膜外腔に投与した場合、母体（最下段）および個々の胎児が示す心電図を、同時に記録したものである。胎児では、いずれの個体においても、心電図上の異常は全く認められない。母体でもまた、波型や心拍間隔に変化が現われず、手術にともなう異常はない。また、母体と個々の胎児の心拍動が、調律を異にして、それぞれ規則正しく拍動を繰り返している状態が記録されている。

Chart 8-(2) は、Chart 8-(1) の記録を取ったのち、母体との連絡を絶った状態で記録したものである。この場合も、個々の新生児の心電図に異常は認められない。したがって硬膜外麻酔法による帝王切開においては、吸収された局所麻酔剤は、

Chart 8. E.C.G. Patterns of Fetus, Neonatus, and Mother during Cesarean Section under Epidural Anesthesia (4% Procaine Hydrochloride Solution, 0.4 ml/kg of Body Weight)

Chart 9. E.C.G. Patterns of Fetus, Neonatus, and Mother during Cesarean Section under General Anesthesia (Nembutal, 20 mg/kg of Body Weight)

手術侵襲を受けた母体や、また胎児と、それが新生児となった場合にも、心電図の上からは、なんら認むべき悪影響を与えていないといえる。

Chart 9-(1) は、Nembutal 20 mg/kg を静脈内に投与した場合、母体と胎児が示す心電図を同時に記録したものである。母体（最下段）とともに

に、胎児もまた頻脈となっている。しかも胎児の心電図には、個体によって、ST 部分が上昇しているものがみられる（上から 2 段目）。また、Chart 9-(2) のように、期外収縮がみられる場合もある（上から 3 段目）。Chart 9-(3) は、同じ例で、母体と胎児の連絡を断った状態で、母体と個々の新生児の心電図を、同時に記録したものである。母体の心電図には、頻脈のほかに異常は認めないが、新生児では、徐脈と ST・T 部分の変化とが顕著である。

Chart 10-(1) は、Samnopentyl 20 mg/kg を静脈内に投与した場合、母体と胎児が示す心電図を同時に記録したものである。母体の心電図は、前

Chart 10. E.C.G. Patterns of Fetus, Neonatus, and Mother during Cesarean Section under General Anesthesia (Somnopenitly, 20 mg/kg of Body Weight)

例と同じように、頻脈以外に異常は認められない。しかし胎児の心電図には、ST 部分の変化など、Nembutal を用いた場合と同じような異常所見が認められた。同じ例で、母体と個々の新生児の心

電図を同時に記録したのが、Chart 10-(2), (3) である。新生児の心電図には、著明な徐脈 (Chart 10-(2), 上から 1, 3, 4 段目) や、ST・T 部分の変化 (Chart 10-(3), 上から 1, 2, 3 段目) に加えて、房室ブロックが現われた個体 (Chart 10-(3), 上から 3 段目) も観察された。

佐藤⁴⁾は、各種の全身麻酔剤による麻酔下の犬の心電図学的な比較検討を行ない、Pentobarbital sodium 麻酔では、波型の異常は認められないが、心拍間隔が短縮することを報告している。この実験における Pentobarbital sodium 麻酔下の帝王切開においても、手術による影響はなかったが、母体の心電図には、心拍間隔の短縮がみられ、胎児においては、頻脈のほかに心電図波型の異常が現われ、母体との連絡を断つと、新生児の心電図には、著しい変化が起こることがわかった。

Chart 11 は、胎児の心拍数と、これに対応した新生児の心拍数、すなわち個々の胎児の心拍数とそれらが母体との連絡を断たれて、新生児となった場合の心拍数との相関図である。X 軸に胎児のときの心拍数を取り、Y 軸に新生児となったときの心拍数をとってある。Procaine による硬膜外麻酔の場合には、X・Y 値とも、およそ 180 を中心とした対角線の近くに集まっている。これは母体との連絡があつて、母体から酸素を供給されている時期であっても、また母体との連絡を断たれて、自発性呼吸によって酸素を取りはじめた時期であっても、心拍数には、なんら変わりがないことを示している。すなわち、このような時期の心拍数では、180 内外を正常範囲と考えることが

Chart 11. Heart Rate (Per Minute) Correlation Diagram of Fetus and Neonatus

Remarks. x : Nembutal general anesthesia.
Δ : Somnopenitly general anesthesia.
○ : Procaine epidural anesthesia.

できる。

一方, Pentobarbital sodium による全身麻酔の場合では, もともと X 値が小さいものは, Y 値も小さいが, X 値が大きいものでも, Y 値が小さくなっている。すなわち, 胎児のときに, 徐脈であっても, 頻脈であっても, 新生児となったときは徐脈になる。

母体に静脈麻酔剤を投与すれば, 胎児もまた麻酔に陥ることは, 周知の事実である。したがって胎児の頻脈は, 母体のそれと同様に, 麻酔剤によるなんらかの影響と考えねばならない。このような状態で母体との連絡を断たれた場合, 体内に蓄積された炭酸分圧の上昇によって興奮するはずの呼吸中枢が, 麻酔剤の影響を受けて, 自発性呼吸の開始が遅くなる。また体温が低下することも重なって, 呼吸のリズムが乱れ, 酸素欠乏状態に陥ることは明らかである。新生児の心臓機能の異常は, 酸素欠乏が最大の原因と解される。

従来から, 帝王切開によって胎児を救助しようとする場合には, 母体の麻酔に, バルビツール酸誘導体の製剤など, 全身麻酔剤のある種ものが禁忌とされている。この記録は, 心電図の上から, 禁忌の理由を立証しているものといえよう。

要 約

硬膜外麻酔の副作用, とくに麻酔効果自体による副作用について, 検討を行なった。

(1) 麻酔効果が脊髄を上昇して, Mm. intercostales 支配の脊髄レベルに及んだ場合には, Diaphragm 支配の脊髄レベルに到達しない限り, 呼吸頻度の代償性増加と, 腹式呼吸型への移行によって, 規則的なリズムの呼吸運動が維持される。Mm. obliqui abdomines 支配の脊髄レベルにのみ及んだ場合にも, 安定した呼吸頻度とリズムが維持され, 硬膜外麻酔法では, 末梢性の呼吸運動失調は起こらないとみてよい。Diaphragm は, 硬

膜外麻酔法の実施中, 呼吸運動の維持に重要な役割を演じている。このことから, この筋の活動を阻害しないような前処置を講ずることが望ましい。

(2) 硬膜外麻酔法は, 心臓機能に対して, なんらの悪影響も及ぼさない。投与後一過性に現われる頻脈は, 局所麻酔剤の吸収によって起こったものとみるよりは, むしろ姿勢の崩壊などに起因した不安感による精神的なものとみるのが適当である。

(3) 帝王切開のような手術侵襲に対しても, 母体の心電図には, なんらの異常をも誘発しないばかりでなく, 胎児や新生児に対しても, 悪影響を及ぼさない。

結 論

これらの実験成績から, 脊髄硬膜外麻酔法の術式の確立, 麻酔機序の解明, 安全性の保障など, 獣医学臨床への応用の可能性が実証された。

本研究に関し指導をいただいた宮崎大学長倉義夫教授・東京大学岡部利雄名誉教授・野村晋一教授および沢崎坦助教授に衷心より感謝の意を表する。

文 献

- 1) 西邑 (1961): 硬膜外麻酔の理論と実際, 80~82頁, 大阪, 永井書店。
- 2) 大塚 (1964): 日本獣医師会雑誌, 17, 90~95。
- 3) 大塚, 長倉 (1966): 日本獣医師会雑誌, 19, 522~526。
- 4) 佐藤 (1962): 東京獣医畜産学会雑誌, No. 12, 51~104。
- 5) 高橋 (1964): 日本獣医師会雑誌, 17, 440~445。
- 6) 綿貫 (1961): 外科病態生理選書, 第1集, 131頁, 東京, 医学書院。

EXPERIMENTAL STUDIES ON EPIDURAL ANESTHESIA

IV. OBSERVATION ON SIDE EFFECTS

Hiromitsu OTSUKA

*Department of Veterinary Surgery, Faculty of Agriculture,
University of Miyazaki, Miyazaki*

(Received for Publication November 15, 1968)

The influences of anesthesia exerted upon the respiratory and circulatory systems were examined in dogs by electromyography and electrocardiography. The results obtained are summarized as follows.

(1) When the anesthetic effect came up to the spinal levels which might control the activities of the Mm. obliqui abdomines and Mm. intercostales, the respiratory movement was of abdominal type and increased in frequency for compensation. Therefore, the rhythm of the respiratory movement was maintained regularly. When the anesthetic effect came up to the spinal level which might control the activity of the Mm. obliqui abdomines, the respiratory movement maintained its normal frequency and rhythm. So that, it was considered that no peripheral ataxia might be induced in the respiratory movement by this method. The diaphragm played an important part on the respiratory movement under this type of anesthesia.

(2) Epidural anesthesia gave rise to no side effects on the cardiac function or to no abnormal findings upon the ECG pattern of the fetus or the newborn in the case of cesarean section.

From the view of these results, a method of epidural anesthesia has established and cleared the mechanism of anesthesia, the safetiness of anesthesia guaranteed here. These results have evidenced the possibility of the application to veterinary clinics.