原 著

術後肺換気の局所の変動

— impedance pneumography による検索 —

東京慈恵会医科大学第 1 外科（主任：桜井健司教授）

児 玉 喜 直¹⁾ 伊 坪 喜 八 郎²⁾ 半 沢 隆¹⁾
鹿 志 村 香¹⁾ 池 田 雄 一¹⁾ 桜 井 健 司³⁾

REGIONAL PULMONARY VENTILATION IN POSTOPERATIVE PERIOD — A STUDY BY IMPEDANCE PNEUMOGRAPHY —

Yoshinao KODAMA, Kihachiro ITSUBO, Takashi HANZAWA
Kaoru KASHIMURA, Yuuichi IKEDA and Kenji SAKURAI
First Department of Surgery, Jikei University School of Medicine

上腹部手術後の局所的換気機能の変化を impedance pneumography を用いて観察した。

Impedance pneumography の測定結果と局所的換気機能を測定し得ると考えられている radioisotope pneumography の測定結果とを比較すると $r=0.70$ の相関が認められた。また impedance pneumography と pulmonary function indicator の値も相関する ($r=0.85$)。

以上の結果により外科手術直後の症例に対しては impedance pneumography を用うれば bed-side で正確にかつ安全に局所的な換気状態の変化を測定できる。われわれが観察した上腹部手術例 21 例では術後の換気機能が次のように推移した。術後 1 日目から 2 日目にかけて換気機能は著明に低下し（平均 46% に低下）とくに下肺野ではこの傾向が強い（平均 40% に低下）。その後は漸次改善する傾向を示すが、上腹部手術が左右いずれかに片寄った場合は、その換気機能は明らかに患側が障害される。この傾向は下肺野にとくに強く、換気機能の改善も遅延する傾向を示す。

索引用語：術後肺換気, impedance pneumography, radioisotope pneumography,
局所的換気機能

I. はじめに

最近の医療技術の発達、とくに麻酔及び術前術後の管理技術の進歩にともない手術適応の範囲が著しく拡大されるようになった。これにともない麻酔や手術に起因する急性肺病変も増えその予後に重大な影響を及ぼし苦しい経験を味わうことも度々である。これらの問題を解決するために急性肺病変の早期発見と適切な予防方法及び治療方法が確立されねばならない。そこで我々は患者に与える負担が少なく、bed-side で容易

にかつ繰り返し肺の部分的換気機能を知り得る方法として近年開発されてきた impedance pneumography（以下 I.M.P.）を用いて上腹部手術が術後患者の呼吸状態にどのような影響を与えるかについて検討した。

II. 実験方法および対象

1) I.M.P. と radioisotope pneumography（以下 R.I.P.）との相関

まず I.M.P. が部分的換気機能をどの程度正確に捕えているかを検討するために部分的換気量を計測し得ると考えられている R.I.P. との相関を臨床上換気機能にまったく異常が認められない症例 41 例で検討し

1) 助手, 2) 助教授, 3) 教授

た。

I.M.P. の測定は東芝製の IMP-02A 及び同社のカップ電極を使用した。R.I.P. は ^{133}Xe ガスまたは $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ガスを吸入させ、I.M.P. の電極配置と一致した個所に等面積の area を設定し、この area の放射能を測定した¹⁾。

2) I.M.P. と換気量との相関

上腹部手術症例20例について術前および術後の最大換気量を測定した。換気量の測定は熱線型電気換気機能測定装置 pulmonary function indicator を使用した。この装置の信頼性に関してはすでに多くの文献で証明済みである²⁾。

3) I.M.P. による上腹部手術後の局所換気の測定

上腹部手術症例21例について術後1週間の換気機能を検討した。上正中切開症例が12例、右季肋部斜切開症例が9例である。測定呼吸の種類は自発呼吸と最大換気量で体位は術前術後共仰臥位で測定した。

III. 測定結果

1) I.M.P. と R.I.P. の相関

図1に示めたごとく自発呼吸で0.70、最大換気量で0.75の相関を認めた。

2) I.M.P. と換気量との相関

両者の相関係数は0.85であった(図2)。I.M.P. と換気量とによる上腹部手術後の換気状態の経過は図3のように impedance 変化分($\Sigma \Delta Z$)をたて軸にとり、術前値を100とした百分率で表わし、よこ軸を術後日数で表わした。I.M.P. によると全体肺の換気量の変化は術後1～2日目に著明に低下し、以後漸次上昇してゆく傾向が認められた。一方 pulmonary function indicator で測定した換気量の術後経過は最大換気量と喀痰の喀出能力の指標である peak flow を同じ術前値

図1 Impedance Pneumography と Radioisotope Pneumography の相関

に対する百分率で表わし、たて軸にとってあるが I.M.P. とはほぼ同様な経過をしめた。

図2 Impedance Pneumography と換気量との相関

図3 Impedance Pneumographyと最大換気量及び peak flow の上腹部手術後の経過

○ : impedance pneumography, △ : 最大換気量, × : peak flow

(右肺野)

(左肺野)

図4 上正中切開症例における Impedance Pneumography の部位別経時変化 (自発呼吸)

3) I.M.P. による上腹部手術後の局所換気機能

図4～7に皮膚切開別, 呼吸の種類別, 肺の部位別に換気機能の経時的推移をしめた。

i) 上正中切開症例の自発呼吸

図4にしめすように術後1～2日目に下肺野の換気量は術前値の65%と著明に低下している。これに対し上・中肺野の換気量は逆に上昇する。換気量は下肺野で次第に回復し, 術後6～7日目でほぼ術前値に回復している。左右に有意な差は認められない。

ii) 上正中切開症例の最大換気量

術後1～2日目にかけの換気量は上肺野では術前値の70%に, 中肺野では48%に, 下肺野では40%に各々低下している。以後は急速に改善してゆく傾向をしめすが下肺野の換気機能の改善は最も遅延している。有意な左右差は認められない (図5)。

iii) 右季肋部斜切開症例の自発呼吸

術後1～2日目に右上・中肺野の換気量は上昇し, 右下肺野の換気量は術前値の80%に低下する。その後の術後1週間以内で右下肺野では改善していない。これに対し左肺野では最初からほとんど有意な変化はなく, 下肺野の換気機能もほとんど低下していない。左右で有意な差があると思われる (図6)。

iv) 右季肋部斜切開症例の最大換気量

(右肺野)

(左肺野)

図5 上正中切開症例における Impedance Pneumography の部位別経時変化 (最大換気量)

図 6 右季肋部斜切開症例における Impedance Pneumography の部位別経時変化 (自発呼吸)

上正中切開症例の最大換気量とはほぼ同様な経過をしめしているが、とくに注目すべき点は術後 6～7 日目の下肺野の換気機能が左側は術前値の 87% に回復しているにも拘らず右下肺野は術前値の 70% にしか回復していないことで、切開創の位置によると思われる有意な左右差を認めた (図 7)。

次に術後肺合併症を起こした 1 例を報告する。

IV. 症 例

39 歳, 男性, 術前の肺機能検査では異常を認めない。

図 7 右季肋部斜切開症例における Impedance Pneumography の部位別経時変化 (最大換気量)

限局性臓臓壊死のため臍尾部切除術を施行した。皮膚切開は上正中切開とこれに続く左横切開である。術後 3 日目に右下肺野の無気肺を併発した。図 8 は術前および術後 3 日目, 11 日目の胸部レ線像で術後 3 日目に右下肺野に無気肺像を認める。図 9 は同症例の I.M.P. の下肺野領域における最大換気量の経過をみたもので術前には左右差はほとんど認められず無気肺を併発している。術後 3 日目では明らかに左右差が認められる。

図 8 術後急性肺合併症を併発した症例の胸部レ線像

図 9 上腹部手術後に急性肺合併症を併発した症例の Impedance Pneumography による換気機能の経過

無気肺の改善している術後11日目にはI.M.P. も術前の状態に復している。

V. 考 察

I.M.P. は1932年 Atzler ら³⁾によってはじめて報告され、その後 Nyboer⁴⁾, Kubic⁵⁾, Geddes⁶⁾らにより基礎的研究が積み重ねられてきた。本邦においては吉良⁷⁾, 川上⁸⁾, 伊藤⁹⁾らによる数多くの研究が報告されている。しかしこれらの報告はほとんどが定性的な報告で定量的な信頼性に関する報告は極めて少ない¹⁰⁾。I.M.P. の原理は1本の導線に電流を流す場合、導線の抵抗は導線の長さに比例し、その太さに反比例する。

抵抗をRで表わし、この関係を数式で表わすと、

$$R = \rho \times L / A$$

(L:導線の長さ, A:横断面積, ρ :比抵抗)となる。

この式の分子、分母に長さLを掛けると、

$$R = \rho \times L^2 / AL$$

となるが、この場合分母のA・L(断面積×長さ)は容積(V)になるから、

$$R = \rho \times L^2 / V$$

の式が導かれる。さらにこの式の抵抗(R)と容積(V)の位置を入れかえると、

$$V = \rho \times L^2 / R$$

という式が成立する。この式は比抵抗(ρ)が一定であるならば一定の長さの間の電気抵抗を測定することによってその導体の電極間の容積を測定できることをし

めしている。このように電気抵抗の変化を測定して、生体各部の容積を測定しようというのが本法の根本的理論である。われわれはI.M.P. と定量的換気機能を測定し得ると考えられているR.I.P. との比較から両者の間に0.70~0.75と有意の相関があることを確認した(図1)。これからもI.M.P. 法は肺の部分的換気機能を知るには有効な方法であることが分る。さらにI.M.P. と熱線型換気機能測定装置による換気量の間でも $r = 0.85$ と有意な相関があると思われる(図2)。上腹部手術症例のI.M.P. と換気量との術後経過のpatternが極めて類似した経過をとっていることもI.M.P. の定量的信頼性をうらづけるものであろう(図3)。われわれは上腹部手術後の換気機能の経過について検討してきたが、最大換気量の測定では術後1~2日目に換気機能は最も低下し、特に下肺野領域ほどその傾向が強いことが確認できた。その後の経過も下肺野領域ほど回復のしかたが遅れることがわかった(図5)。

また安静呼吸においては術後1~2日目に下肺野領域の換気機能は著明に低下するが肺全体($\Sigma \Delta Z$)としてはほとんど変化していない。これは術後1~2日目に上・中肺野領域の換気量が相対的に上昇し、下肺野領域の換気不足を代償しているためと考えられる(図4)。

次に上腹部の手術侵襲が左右いずれかに片寄った場合、侵襲の加わった右側(患側)の換気機能が侵襲の

加わらなかった左側（健側）に比較して明らかに低下し、改復のしかたも遅延している。特に下肺野領域ではこの傾向が強いことが確認できた（図 6, 7）。これは上腹部手術後 1～2 日目に肺合併症が下肺野領域に発生しやすいことを強く示唆している。

上腹部手術後は疼痛や患者の不安のため腹式呼吸が制限され、横隔膜呼吸が制限されることが考えられるが、この換気機能の制限は I.M.P. 法により定量的に証明できた。

術後の換気機能や肺合併症の予測方法として吉田らは flow volume や closing volume を使った報告¹¹⁾、また小西らはラジオアイソトープを使った報告¹²⁾をしている。これらの報告はあらかじめ術前から患者のリスクを判定するうえでは有意な報告とは思われるが術後肺合併症の発生する原因は極めて複雑多岐で一元的に論ずることは現時点ではかなり困難と思われる。

事実、われわれの報告した術後肺合併症々例も年齢、一般状態、術前の肺機能検査、手術侵襲の程度からみて肺合併症をひきおこすことは予測できなかった症例であるが、I.M.P. により異常に気づき、胸部レ線所見によって右下肺野領域の無気肺を発見し、早期に治療を開始して事なきを得た次第である（図 8, 9）。このように術後の換気機能はできるだけ頻回に check することが望ましいが従来使用されている換気機能測定法、即ち換気量を測定する方法では肺全体の機能を check することはできるが部分的な換気機能を知ることとはできない。

また部分的換気機能を知り得る R.I.P. 法では設備の大きさ、管理の複雑さ、患者の被爆の問題等それぞれ一長一短がある。これに対し I.M.P. 法は患者に対して完全に無侵襲でかつ容易に bed-side でくりかえし部分的換気能を測定でき、術後の換気機能を check する monitor として有用な方法であると思われる。

ま と め

(1) 肺の部分的換気量を impedance pneumography と radioisotope pneumography とで同期的に測定して比較してみると自発呼吸でも最大換気量においても良く相関し、その相関関係は平均 0.7 であった。

(2) 全体の換気量と impedance pneumography は有意の相関をしめし、その相関係数は 0.85 であった。

(3) 最大換気量および peak flow と impedance pneumography は術前術後ともに良く関連して推移した。

(4) 上腹部正中切開症例では術後 1～2 日にかけ

て、とくに下肺野では換気量の減少が著明であるが、有意の左右差は認めなかった。

(5) 右季肋部斜切開症例では左肺に比しとくに右下肺野の換気量の低下が著明で、その改善のしかたもゆるやかであった。

(6) 術後の自発呼吸では上・中肺野の比較換気量はむしろ上昇し、下肺野の機能低下を補っているように思われる。両切開法とも同じ pattern をしめしていた。

以上により、上腹部手術後、とくに第 1～2 日に下肺野（肝・胆道系疾患ではとくに右下肺野）に肺合併症が起り易い理由を説明できる。Impedance pneumography は術後肺の各部の換気量の monitor として有用な検査法であると考えられる。

本論文の要旨は第 38 回日本臨床外科医学会総会および第 78, 79 回日本外科学会総会にて報告した。

本稿を終るに臨み、ご指導とご校閲を賜りました恩師桜井健司教授並びに伊坪喜八郎助教授に深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) 児玉喜直：上腹部手術後の肺換気量の推移に関する研究—とくに impedance pneumography による検討—, 慈医誌, 96: 627—641, 1981.
- 2) 吉失生人, 竹村政道, 中島崇夫ほか：熱線型スパイロメーターの性能と臨床使用, 日胸疾患会誌, 11: 304, 1973.
- 3) Atzler, E. und Lehman, G.: Uber ein neues Verfahren zur Darstellung Herz tigkeit (Dielektographc). Arbeitsphysiologie, 5: 636—680, 1970.
- 4) Nyboer, J.: Electrical impedance plethysmography. C. Thomas, Springfield, p. 50—81, 1970.
- 5) Kubicek, W.G., Karnegis, J.N., Patterson, R.P., et al.: Development and evaluation of an impedance cardiac output system. Aerosp. Med., 37: 1208—1212, 1966.
- 6) Geddes, L.A., Hoff, H.E., Hickmann, D.M., et al.: Recording respiration and the electrocardiogram with common electrodes. Aerosp. Med., 33: 791—793, 1962.
- 7) Kira, S., Hukushima, Y., Kitamura, S., et al.: Transthoracic electrical impedance variations associated with respiration. J. Appl. Physiol., 30: 820—826, 1973.
- 8) Kawakami, K., Hukushima, Y., Kira, S., et al.: Associated change transthoracic electrical

- impedance with regional ventilation of the lung. Med. Biol. Eng. Comput. II: 469—478, 1973.
- 9) 伊藤阿那雄：無侵襲換気量モニターとしてのインピーダンスニューモグラフィー，一呼吸性 ΔZ と排気量の相関一，日胸疾患会誌，13：87—93, 1975.
- 10) 山本路子，大沢猛彦，川上憲司ほか：呼吸性インピーダンス変化の局所的変化— ^{133}Xe 分布との比較，第15回日本 ME 学会予稿集，325, 1976.
- 11) 吉田猛朗，古川次男，井口 潔：術後肺合併症予測に関する術前 flow volume 曲線，closing volume の評価一，日胸外会誌，30：1—5, 1982.
- 12) 小西 洋：肺癌患者における定量的肺シンチグラフィーによる術後呼吸機能の予測一，日胸外会誌，30：6—16, 1982.
-