

# CPAPマスクを用いた肺水腫の治療

平成14年8月8日

## 目次

1	はじめに	2
2	歴史的経過～興味のない人は、飛ばしていいです	2
3	実際の使い方	5
4	急性期心不全に対する、CPAPの理論的效果	8
5	急性期心不全に対する、CPAPの臨床的效果	9
6	CPAPの慢性期効果	10

## 1 はじめに

当院ではここ数年、肺水腫による呼吸困難を主訴に来院した患者は、ほぼ全例 CPAP マスクを用いた治療を行っている。

ハイフロー CPAP セットの使い方、理論的根拠、フォローのしかたについて簡単にまとめた。

## 2 歴史的経過～興味のない人は、飛ばしていいです

自己呼吸している患者を補助するために、マスクを使って気道陽圧を与えた記述として一番古いものは、1912年<sup>1</sup>にさかのぼる。この年、麻酔学者のスターリング・バンネルが、胸部手術中に肺の膨張を維持するためにマスクを使ったことを報告している。

しっかり記録が残っているのは1910年代。バンネルは「スライダーとばね装置<sup>2</sup>」を手動操作して、現在のCPAPバルブとほとんど同じ方式で呼気に陽圧をかけた。報告の中でバンネルは、「スライダーを調節するだけで肺の膨張度を正確に調整でき、肺を壁側胸膜とほとんど同じ平面にしておくことができた。」としている。この技術はその後の20年間、ほとんど改良されなかった。

1936年にプルトンとオクソンらは手術室以外での初めての臨床研究を発表した。

彼らは、肺浮腫の原因は「左心室と右心室の協調運動不能により、肺循環に流れ込む血液が全身系循環に完全に流れ込まない」ことである、という前提に基づいて「気道の圧力を上げれば、肺内部の血圧上昇を妨げることができる」と仮定した。

彼らはこの仮定に基づいて、「肺プラス圧装置」を設計し、真空掃除機を利用してガス流を起こし、CPAPマスクを作成した。

この肺プラス圧装置を心臓性喘息（肺水腫）の患者7名に用いたところ、呼吸困難の緩和に効果があった。

---

<sup>1</sup>1500年代に、パラケルススが行ったのが最初という説もある。どちらにせよ、趣味の世界

<sup>2</sup>カナダのグループが、実物のスライドを持ってきていた。

1937年にバラックらは、呼吸閉塞と肺浮腫の両方の治療に、持続的陽圧呼吸（CPAP）を用いたことを報告した。彼らは、CPAPは吸気時の呼吸仕事量を軽減し、呼気中の気管支虚脱を防ぐことによって、換気の効率を向上させるとの理論を立てた。

また、ブルトンとオクソンが1936年に主張したように、マスク経由のCPAP治療で肺浮腫の症状が軽くなったのは、「気道陽圧の上昇によって肺泡毛細管の膜に対抗力が加えられ、液体が流出して肺胞に入るのが妨げられる」ためだと主張した。

バラックらはまた、CPAPは胸腔内を陽圧にすることにより、右心臓への静脈還流を減らすことによって肺のうっ血を少なくする、とも推論した。

1940年代初めに技術が発達し、高高度飛行時代が到来した。バラックは航空機研究者達と共同して、CPAPの応用を研究し続けた。顔マスクによる陽圧は高高度（40,000フィート以上）を飛行するパイロットの低酸素血症症予防に利用された。

1952年にジェンセンは、マスクCPAP療法についての「初期」研究の最後として、肺挫傷の治療法が改良されたことを重ねて報告した。

ポリオの流行で、CPAPは一度忘れられた。この研究の後10年間に、この療法は急激に変化した。この時期はポリオの大流行<sup>3</sup>のため、換気技術に臨床応用されたのは、もっぱら陰圧式人工呼吸器であった。その後、スカンジナビア諸国の先導に続いて、米国も気管内挿管による陽圧換気の考え方を受け入れた。

CPAPに対する熱狂的人気は衰えてゆき、どのような種類の呼吸機能障害にも効果のある優れた療法として、IPPV（間欠的陽圧換気）の人気が高まった。

マスクを用いたCPAP治療は、ここで一度すたれることになる。

1973年に入り、バラックが慢性閉塞性肺疾患（COPD）患者27名の労作性呼吸困難を和らげるため、CPAPマスクを用いたことを報告した。彼らは「CPAPマスクは呼気中の細気管支の虚脱を軽減し、また身体の吸気努力を減らすことによって、換気効率を上げる」ことを報告したが、残念なことに、この報告は医学界ではほとんど見過ごされた。

---

<sup>3</sup>当然、自発呼吸が全くない患者が世界中にあふれ、CPAPの居場所はなくなってしまった。

現在の CPAP は、1980 年代後半からのリバイバル。その後 1976 年にグリーンバウムが急性呼吸不全の成人患者 14 名に顔マスク経由で CPAP を与え、そのことを報告した。この小さな患者グループで相対的成功 (57%) をおさめたため、他の研究者達もいろいろな病状の患者にマスクで CPAP を与えるようになった。

そして 1985 年に、ラサネンらが心不全の急性増悪にマスクで CPAP を与えると、単なる酸素投与のみよりも血液中酸素濃度の上昇が良いことを発表し、当初の発表から 50 年ぶりに、CPAP マスクは再び心不全の治療手段として、注目されるようになった。

1980 年代のマスクは、合併症必発だった。CPAP マスクの初期の研究者達は、当時市販されていたマスクの性能が悪く、顔に大きな傷をつくるおそれがあることを認識していた。

1982 年の研究でコベリらは、バイタルサインズ社の新製品である、軽量で透明なマスクには、空気でふくらます方式の顔密閉用シールが付いていて、マスクが原因の合併症が事実上ないことを発見した。



図 1: バイタルサインズの CPAP マスク。多分、日本でも一番広く使われている。

マスク CPAP に使用するマスクは、分泌物や嘔吐物が口腔気道にいかどうかを目で監視できるように、透明で、軽量で、しなやかで調節できる密閉用シールが付いているべきである。

各種 CPAP マスクは、標準的な麻酔用の 4 本のヘッドストラップを使って簡単に装着できる。どの研究者も認めている重要な事実として、効果的に密閉するために、きつく密閉する必要はない、ということが挙げ



図 2: CPAP マスクシステムの例。マスクの上に入っているのが酸素配管で、下が PEEP バルブ。

られる。必要な圧力がシステム内で維持される限り、マスクまわりの空気漏れは許容できる。

### 3 実際の使い方

CPAP マスクは、救急外来で装着してこそ、真価を発揮する。当院導入当初は、ER ではリザーバマスクで立ち上げ、ICU に入ってから CPAP マスクの適応を考えていた。

ER で、全例つけてみる。しかし、肺水腫を生じるような患者の場合は、胸腔内を陽圧にすることが、直接治療効果を出す。このため、救急外来で、患者が着たらすぐに CPAP マスク療法を開始すると、その治療効果をより実感できる。

現在、当院では CPAP マスクキットを ER に 1 セット、ICU に 1 セット常備している。

呼吸困難を主訴に来院した患者で、胸部単純写真上、肺うっ血が認められた患者は、すべて CPAP マスクを試みている。マスクがなじめない患者の場合はすぐに中止するが、何回か使用経験のある人、あるいはマスクに抵抗感のない人では、血液ガス上 pH 7.0 以上あれば、気管内挿管

を回避できることが多い。

よい適応と考えているのは、以下の患者である。

- 心不全の増悪（明らかな虚血性心疾患は、最近はやめている）
- 透析患者の溢水症例（制裁の意味もこめ、朝まで粘ることもある）
- 重症肺炎患者などで、ICU が準備できるまでの 30 分ほどを救急外来で待たせるとき

呼吸器さえあれば可能 用いる道具は施設ごとに異なるが、ハイフロー CPAP のセットが無くても、普通の呼吸器に酸素マスクをつけ、それを患者に装着（写真3）しても同じ効果が得られる。これであれば、無呼吸アラームもつくので便利ではある。



図 3: エピタ 4 に市販のフェイスマスクをつけているところ。プレッシャーサポートも、結構ちゃんとかかる。

肺水腫の患者に CPAP を用いる場合、FiO<sub>2</sub> を一定以上上げられない、BiPAP は不向きかもしれない<sup>4</sup>。

市販のハイフロー CPAP を組む際には、図のように回路の途中にリザーバーバッグを組み込む<sup>5</sup>と、圧が安定する。

このセットは CPAP バルブを交換することで圧を変更できるが、当院では一律 5cmH<sub>2</sub>O で開始している。

<sup>4</sup>実際上はこれでも十分だが。

<sup>5</sup>教科書的な CPAP は、これがあたりまえだった。いまはやる人が少ないが。

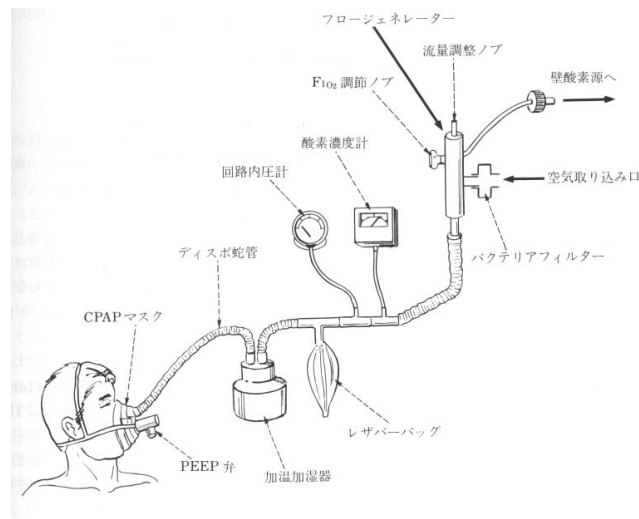


図 4: CPAP の組み立てかた。フロージェネレーターに FiO<sub>2</sub> モニターを組み込み、リザーバーバッグを途中に入れている。

引き際が大事 心不全患者に CPAP マスクを用いた場合、通常は 5 分以内に呼吸困難感の軽減が得られる。

逆に、マスクの不快感が強く、CPAP マスクに抵抗感がある患者、5cmH<sub>2</sub>O 程度の CPAP 圧では血液ガスの改善が得られない患者は、それ以上 CPAP マスクにこだわらないほうがよい。

この治療法は、もともとはリザーバーマスクによる酸素投与と、気管内挿管による人工換気の、いわば隙間商品として誕生したものであり、必要以上にこれにこだわる意味は無い。

COPD 増悪の患者と違い、心不全患者は肺機能は正常であることが多く、気管内挿管を行っても、それだけで死亡率が悪化することはない。<sup>6</sup> 非侵襲的<sup>6</sup> にこだわって、適切な治療を行わないほうが、患者にとってはよほど侵襲的である。

<sup>6</sup>以前はよく、ミニトレックを用いながら BiPAP を施行したりしていた。

## 4 急性期心不全に対する、CPAPの理論的効果

プレロードも、アフターロードも減少する CPAPは常に一定の圧力を気道にかけることにより、過剰な静脈血環流を抑え、更に心収縮時には心臓にかかる壁圧をCPAPによる陽圧でキャンセルすることにより、アフターロードをも減らしうる。CPAPは機能的残気量を増し、閉塞した肺胞を開き、右左シャントの割合を減らし、結果として酸素化をよくする。

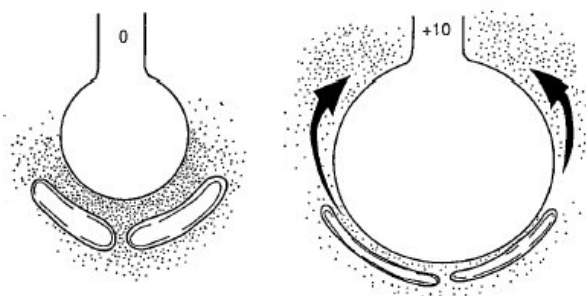


図 5: 胸腔内を陽圧にすることにより、肺胞と血管との間にあった水分は、気管支側に移動する。このことで、酸素化は飛躍的によくなる。この効果は、5cmH<sub>2</sub>O 程度の CPAP でも実感できる。

機能的残気量の増加はまた、肺のコンプライアンスを改善し、呼吸筋の仕事量を減らす。

呼吸仕事量の低下作用も大きい 呼吸筋の仕事量は、健常人の安静時では体全体の酸素消費量の4%程度を占めるに過ぎない。しかし、呼吸不全状態になった患者では、この量が20%近くにも達する。図6は、安静状態のボランティアに過換気をしてもらい、酸素消費量を計ったものだが、分時換気量が10lを超えたあたりから、酸素消費量が急速に上昇していくのが分かる。

この上昇分は、理論上は呼吸筋が消費する酸素量に等しい。

このため、呼吸筋仕事を減らす CPAP の効果は、心拍出量を20%増したのと、同じような効果が期待できる。これらの理論は、



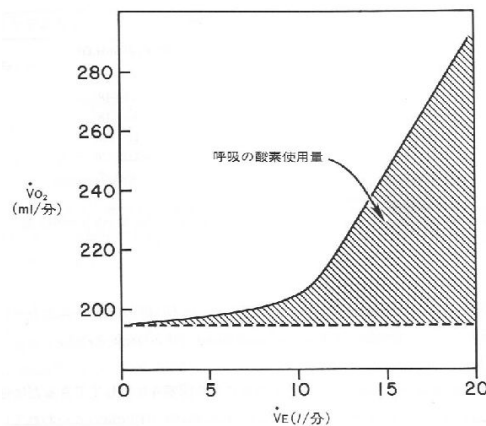


図 6: 換気量と呼吸仕事量の関係。分時換気量が 10l/分を超えたあたりから、横隔膜の酸素消費量が急速に増える。

- 5cmH2O の CPAP で、PCWP12 以上の心不全の患者の心拍出量が、平均 2.48 から 2.86 へと上昇した (1992 年、ブラッドレイら)
- 食道内圧モニターを用いた心筋仕事量の推定から、心不全に陥った患者の心筋仕事量は、10cmH2O の CPAP で平均 11% 減少し、呼吸筋仕事量は平均 40% 減少した (1995 年、ノートンら)

とする報告などで裏づけられている。

またこれらの報告では、いずれも心拍数の減少も確認されている。これは、CPAP により肺胞伸展受容器が刺激され、副交感神経刺激が優位になるためと考えられている。

生化学的な因子では、心不全増悪期に上昇する物質であるノルエピネフリン、心房性ナトリウム利尿ペプチド (ANP)、エンドセリンについては、CPAP の負荷により、血液中の濃度が減少することが報告されている。

## 5 急性期心不全に対する、CPAP の臨床的効果

少なくとも酸素化はよくなる 今までに 3 つのランダムイズドトリアルと、1 つのコントロールのないトリアルが急性肺水腫について行なわれているが、10cmH2O 程度の CPAP をマスクを用いてかけることで、すぐにバイタルサインの改善が得られ、酸素化が良くなり、気管内挿管を避けることができるという結論になっている。

CPAPの成功率は研究によりまちまちではあるが、平均80%の呼吸不全の患者で気管内挿管を避けられることが証明されている。

心不全急性期への陽圧換気の適用に関しては、反対意見もある。一方、2000年になってからは、急性期心不全にBiPAPを施行した際、心筋梗塞の発生率が上昇し、死亡率がかえって増したという報告もある。この報告に対する批判<sup>7</sup>も多く、今の時点でこれが本当に正しいのかはわからない。

## 6 CPAPの慢性期効果

まだ効果ははっきりしていない。CPAPマスクは現在、睡眠時無呼吸症候群の治療手段としてのみ、慢性期使用が認められているのが現状である。このため、心不全の慢性期に置けるCPAPマスクの効果はCheyne-Stokes呼吸（CSR）を合併した心不全の患者においてのみ、行なわれている。

Cheyne-Stokes呼吸を合併した心不全患者は予後が悪く、また、心不全の改善とともにこうした呼吸は軽減すること、さらに、拡張型心筋症の末期の患者では、3人に1人近くにCheyne-Stokes呼吸が見られることは、古くから観察されていた。

こうした患者に対して、CPAPマスクを夜間に行うと、気道の閉塞がないにもかかわらず、呼吸状態の改善が得られる。



図7: 睡眠時無呼吸症候群用の、鼻CPAPマスクの例。太い鼻カヌラのよ  
うなものを、呼吸器の蛇管につないでいる。

<sup>7</sup>BiPAP群は、亜硝酸剤の投与量が少なかったなど。

CSR を合併した心不全に対して、夜間に CPAP マスクを施行することにより、

- LVEF が平均 21.2% から 1 カ月後には 24.9%、3 カ月後には 28.9% に上昇した
- 尿中の平均ノルエピネフリン濃度が減少した
- 僧帽弁を逆流する血液量の減少も確認され、左室の大きさの減少が示唆された

といった、CPAP マスクの慢性的な使用に肯定的な意見<sup>8</sup>も数多く出されている。

しかしその一方では、やはり Cheyne-Stokes 呼吸を合併した、心不全の安定期に CPAP を負荷すると、かえって心機能が悪くなったとする反対意見も報告されており、治療の対象とする患者の選択、治療期間、用いる圧力の調節など、この分野はまだまだ分かっていないことが多く、今後の研究が待たれる。<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup>一番問題なのが、よい結果を出しているのがカナダの睡眠時無呼吸研究グループのみ、という点。他の研究グループの追試は、肯定的な結果は少ない。

<sup>9</sup>2000 年に入り、カナダのグループが心不全の予後の改善効果を証明したとする報告を行った。