

## 合同企画 高気圧酸素治療安全セミナー 「酸素中毒・気圧外傷」

四ノ宮成祥

防衛医科大学校

防衛医学研究センター／分子生体制御学講座

高気圧酸素治療を安全に施行するためには、圧変動による物理的影響を把握するとともに、高分圧酸素によりもたらされる酸素の毒性及びその結果として臨床症状に現れる酸素中毒に対する生理学的背景を理解しておく必要がある。

含気性組織に対する圧変化の影響は、出入口が狭く周りが骨などの硬い組織で覆われている場所や閉鎖空間になりやすい部位で最も大きくなる。空気の入りが連続的に起きる場所は加減圧により体積の変化はないが、閉鎖空間では含気部分の体積変化が起きる。ボイルの法則によれば、気体の体積変化率は加圧深度の浅いところで大きく、気圧外傷は深いところよりも浅い深度にて生じる可能性が高くなる。生体内において気圧外傷を起こしやすい場所は、耳管を通じ外界と交通している中耳、骨性の開放窓より外界と交通している副鼻腔、肺胞から気管支への交通が見られる肺である。最も頻繁にみられる中耳圧外傷は、一般に風邪や花粉症などにより耳管の通気状態が悪いことが誘因となり、耳抜き不良のまま加圧されることが直接的な原因となる。症状は、耳痛、一過性のめまい、嘔気、耳鳴、耳の充満感、耳出血、軽度の伝音性難聴である。内耳圧外傷においても、耳管通気の不良が一義的な原因であり、不適切な耳抜きやいきみによる脳脊髄圧上昇が前庭窓や蝸牛窓の破裂を招く。症状は、回転性のめまい、嘔気、耳鳴、高度難聴などで、永久的な聴力障害を残すことがある。このような状態で高気圧酸素治療を継続してはならない。副鼻腔の圧外傷は解剖学的に前頭洞や上顎洞におきることが多く、加圧時の副鼻腔スキューズとして前頭部痛、頬部痛、鼻出血などが起きる。一方、加圧時には顕著な症状がなかったが、減圧時になって副鼻腔の症状が現れるリバース（逆）スキューズと呼ばれる病態も存在する。減圧時に膨張するガスの逃げ場がなくなることによるものであるが、無理な減圧は副鼻腔の骨性組織破裂につながることもある。減圧時に肺内で急激なガスの膨張が起きる病態を肺過膨張症候群とよび、肺胞の破裂を起こすと、気胸、動脈空気塞栓症、縦隔気腫などの症状を引き起こす。急減圧、呼吸を止めた状態での減圧、粘液栓、嚢胞性肺

疾患、喘息などが誘因となる。

酸素による有害事象として症状に現れるのが酸素中毒である。細胞膜や細胞内の可溶性の酵素、蛋白、ミトコンドリアの電子伝達系、ペルオキシソームなどは細胞内のフリーラジカル産生源として知られているが、高気圧酸素環境下ではその産生が高まる。生体内で酸素毒性が現れるかどうかは、産生されるフリーラジカルとそれらの除去機構（例えば、SOD、カタラーゼ、還元型グルタチオンなど）のバランスの下に決められる。酸素ストレスは、生化学的には細胞膜流動性の低下、脂質の過酸化、タンパク質の変性、核酸の切断などをもたらす。これら酸素毒性の生体への影響は、臨床的には脳酸素中毒もしくは肺酸素中毒という2つの典型的症状として現れる。脳酸素中毒の症状は、トンネルビジョンなどの視覚障害、筋肉の痙攣、興奮に対する過敏性などであり、ひどい場合には癲癇の大発作に似た全身痙攣を起こす。脳酸素中毒の危険因子として良く知られるものに、換気不足による高炭酸ガス血症、発熱、甲状腺機能亢進、ダイアモックスなどの薬剤使用が挙げられる。これらはいずれも、脳血流や代謝を促進する方向に働き、脳内でのフリーラジカル産生を増加させる。高気圧酸素治療における脳酸素中毒の頻度は数万例に1件程度と高くはないが、一酸化炭素中毒の治療の場合は他の疾患に比べて発症頻度が高いとの報告がある。これは、使用する酸素分圧が高めであることや脳自体に障害が起きていることによるものと考えられている。もし高気圧酸素治療中に脳酸素中毒が起きた場合には、吸入酸素分圧を下げるため酸素マスクを外して空気を呼吸させる。呼吸状態が安定しない患者に対しては、決して慌てて減圧操作を行ってはならない。急減圧操作は肺過膨張症候群のリスクを高める。他方、肺酸素中毒は酸素フリーラジカルによる血管内皮細胞の傷害の結果として起きる。肺酸素中毒の臨床症状は、一般に気管支炎様の症状であり、初期には吸気時の胸痛を呈し、進行すると呼気時にも胸痛が現れ、進行性の咳が見られるようになる。肺酸素中毒の程度は、他覚的には肺活量の減少で捉えられる。肺への酸素曝露の程度は、吸入酸素分圧と吸入時間によって変わってくるが、これを定量的な指標として表したものが肺酸素中毒量単位 (UPTD: 1ATMの純酸素を1分間吸入すると1UPTDと定義) である。これにより、高気圧酸素治療による酸素曝露の程度と肺活量減少の関係が一目で分かるようになった。連続的な酸素吸入が酸素中毒の発生を高めることも分かってきており、肺酸素耐性を延長させるために酸素曝露の程度が大きくなる治療テーブルではエアブレイクが導入されている。