

モーニングカンファレンス(4月20日)

手術室の安全・環境

阿部 秀宏

手術室での電氣的安全性

手術室における電氣機器は高性能になりますます多機能となっている。警報システムや安全装置も進歩してきているが、今なお電氣系統の不備が原因で手術中や麻酔中に障害が生じている。

術中発火事故に関する論文では発火に必要な3つの要因(酸素、燃焼物、発火源)が論理的に明らかにされている。通常は電氣的な火花や高温になった機器が手術用覆布に接触し発火源となるために起こる。

手術室における電氣機器の誤作動は火災や爆発の原因になり、中枢および末梢神経への刺激と傷害、筋刺激と筋収縮、組織熱傷、ペースメーカーの干渉、重要機器の電源停止へとつながる。

麻酔科医にとって周術期の電氣的リスクを理解することは重要な責務である。

電気接地(アース)

意図的であるか偶然であるかにかかわらず地面との間の伝導体へ接続する電気回路、または機器と地面の伝導接続

National Fire Protection Association (NFPA)

NFPAは手術室のような湿潤環境においては電源が誤って接地されないような安全策を求めている(漏電遮断器の設置はその安全策の1つである)



医師は患者や医療機器の一部が接地されているか否かは知らなければならない

接地に欠陥がある場合には、患者へ大電流が流れる一歩手前で警報を発する絶縁監視装置などが必要

電源の接地からの絶縁

電流が接地されると大電流が流れる回路の要件がそろうため、電流による傷害を引き起こす。(→すべての電源を接地から絶縁することが重要)

絶縁監視装置

出力電源が接地からどの程度絶縁しているか示すもの
可燃性麻酔薬を使っていた時代にNFPAが義務づけたもの
現在ではほとんどの電気機器に絶縁された電源回路が組み込まれているため不必要になっている

- 手術時には患者を伝導性の液体(血液や生理食塩水)で濡らしやすい液体を通じて想定外の電気抵抗の低い電流経路(電気メスの電流が心電図電極や手術台を流れたり、延長コードのプラグ内)に注意
- 2mA以下の電流には反応しないので微小電流やマイクロショックを防ぐことはできない

静電結合

交流電流でのみあてはまる概念で高周波電流の接続を理解するために必要
平行板コンデンサは一時的に電荷をためて交流電流を通すことができる回路
素子であるが直流電流を通すことができない

$$Z = \frac{1}{2\pi f C}$$

静電容量(C)は平行板の面積に比例し、その距離に反比例する。周波数(f)が高くなるとインピーダンスは減少する
直流の場合は周波数が0でインピーダンスは無量大となる

- 数百～数千kHzの高周波が使われる電気メスの使用時に高周波電流を容易に通してしまう静電結合は通常、電気メス本体と電気メス先端(すなわち切開面や凝固面)の間および電気メス本体と患者につける面積の広い対極板の間で生じる
- MRI検査のために麻酔を行った患者における光ファイバーケーブルを使っていない通常のパルスオキシメータによる重度の熱傷

電気ショック

マクロショック

大電圧、大電流により生じた神経、筋もしくはその両者の機能障害
安全に関しては電圧よりも電流が重要

60Hz電流がヒトの体表から体幹をとる場合の一般的な影響

| 1秒間接触時の電流 (mA) | 影響 |
|----------------|---|
| 1 | 最小感知電流 |
| 5 | 安全に耐えることのできる最大電流 |
| 10~20 | “離脱電流”値を超えると持続的筋収縮 |
| 50~100 | 疼痛、失神、疲労困憊、機械的損傷、 心肺機能は維持される |
| 100~2500 | 心室細動、呼吸中枢は保たれる |
| ≥6000 | 持続的心筋収縮が正常心拍に続いて起こる 一時的な呼吸停止 電流密度が高い(通常100mA/cm ² 以上)と 熱傷をきたす |

電気ショック

マイクロショック

- 非常に小さい電圧または電流を心臓へ直接与えることである
- 内視鏡や透析機器の欠陥による偶発的なマイクロショックによる死亡も報告されている
- 1980年以前、動脈圧と中心静脈圧のトランスデューサは血管内区画に接触しているヘパリン生理食塩水の非常に近くでその電極を用いるため、マイクロショックの大きな原因だった
- 1982年に低電圧電話用ケーブルにより電源供給と操作が可能な小型ディスプレイ圧トランスデューサが現れ広く普及している
- ヒトの心臓で心室細動を起こすには最低 $50\mu\text{A}$ が必要という報告があり、心臓に接している電極やカテーテルを通して流れる最大漏れ電流の許容量を $10\mu\text{A}$ に設定した

American National Standards Institute、1993年12月2日

手術室の環境安全

余剰ガス

余剰ガス問題の核心は手術室内の大気を汚染

適切な排気装置によりその濃度をコントロールすることはできる

微量ガスの長期的な吸入は人体に有害な可能性あるとの報告もあるが結論はまで出ていない

手術室内の余剰ガス濃度の上限として亜酸化窒素で25ppm、ハロゲン化麻酔ガスで2ppm(亜酸化窒素との併用時は0.5ppm)を勧告している

National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH)

Kanmuraらが402例の症例について調べた結果ではマスク換気(42%)、排気装置の未接続(19.2%)、小児用気管チューブからの漏れ(12.5%)装置からの漏れ(11.5%)であった

この研究によると吸入導入法の使用よりも排気装置の不備の場合のほうが室内濃度は高くなる

余剰ガスによる健康被害

- 1970年代半ばに米国、英国から報告された論文では麻酔科の女性医師は手術室外で働く他科の女性医師よりも明らかに流産の確立が高いと結論していた
- BruceとBachが男性健常被験者を対象に行った研究では50ppmの亜酸化窒素は単独でも1ppmのハロタンとの併用でも行動能力を低下させたが25ppmの亜酸化窒素と0.5ppmのハロタンの併用は何の障害も生じなかった(NIOSHの勧告はこの研究結果に基づいている)
- 1990年代後半にTask Force on Trace Anesthetic Gasesが招集され疫学研究のデータが再検討された結果余剰麻酔ガスへの職業上の曝露と健康被害との間には確実な関連性はないと結論された
- 1999年の報告では当時進行中であった唯一の前向き研究の中間報告も行われ女性医師11500人を対象とした研究では不妊、自然流産、先天異常の児を生む確率麻酔科女性医師と他科医師との差がなかった

放射線

電離放射線(X線など)は組織内で電子を励起させてフリーラジカルやイオン化分子を作りだすのに十分なエネルギーをもっている。

エネルギーが強すぎると組織を破壊するおそれがあり、また遺伝子を変異させて悪性新生物を発生させる可能性がある。

非電離放射線(レーザー)は電子を本来の軌道から高位の軌道へ遷移させるエネルギーがあるが電子は分子内にとどまる。

この場合生じる障害は放射線が吸収されるとき熱によるものである。

電離放射線(X線)

- 被曝線量はふつうrem単位で報告される。rem値はあらゆる組織に対して適用可能なように調整した放射線による生物学的損傷の程度の指標である
- 米国での平均値は80～200mremである
- 自然放射線の源は宇宙線が最も多い
- 職業上の安全のため年間被曝線量は5remを超えてはならない。放射線部門で働くスタッフでもこの10%以下がほとんど(最大の被曝線源は透視装置)
- 職業上の放射線被曝は基本的には患者あるいは周辺機器で散乱された放射線によるもの
- 散乱放射線の強さは線源からの距離の2乗に反比例するので最も効果的な防御法は照射の場から距離をおくことである
- 患者から少なくとも3フィート(約0.9m)離れることが勧告されている
- 防御用のエプロンは0.25～0.5mmの鉛板を内蔵しており散乱放射線のほとんどを防御できる

非電離放射線(レーザー)

- レーザーlaserとはlight amplification by stimulated emission of radiation(励起誘導放射による光の増幅)の頭文字
- レーザーの光には赤外線、可視光線、紫外線がある
- 手術用レーザーは強力に焦点を絞り込んだ電磁波で組織を切断ないし破壊する
- 使用されるのは赤外線、可視光線でありレーザー光の波長は媒質(例えば二酸化炭素、アルゴンなど)で決まる
- レーザーを使用している近くで働くスタッフにとって最も大きなリスクは眼障害である
- 直接的あるいは反射による間接的な照射で角膜や網膜の熱傷、黄斑や視神経の破壊、白内障が起こる
- 透明なプラスチック製のレンズは二酸化炭素レーザーからの遠赤外線には有効だがYAGレーザーによる近赤外線には無効である。手術室内では距離をとってもほとんど減衰しないことから全員眼保護具を使用するよう勧告されている
- レーザー手術中に発生するプルーム(組織片からの蒸気と破壊された細胞片)は現在では重大な危険因子である可能性が認識されている
- 直径 $0.5\mu\text{m}$ 以上の比較的大きな微粒子をろ過しても動物実験では肺に病変を引き起こすことが確認されている
- プルーム中にHPVの完全なDNAやHIVのプロウイルスDNAが検出されている