

第 I V 章 : 総 括

1. 緒言

本研究では小児開心術における心筋障害あるいは心機能の新しい指標として、QRS 複合の高周波数電位の解析の可能性を追究した。

2. 方法

(1) 臨床研究

14例の小児開心術において、大動脈遮断解除後のQRS複合電位の高周波数成分(80-300 Hz)の解析を行った。高周波数QRS電位に対する周術期における影響因子と心筋障害の指標であるMB isozyme creatine kinase (CK-MB)の術後値との関連性を検討した。

(2) 動物実験

ラットを用いた低酸素、アシドーシス状態において、QRS複合電位の高周波数成分(80-250 Hz)と心室内圧-容積関係を同時に測定した。これにより高周波数QRS電位と心室内圧-容積関係から求めた心機能の指標との関連性を検討した。心収縮能の指標には収縮期末圧-容積比(E_{max})、心仕事量-拡張末期容積比(M_w)を用いた。

3. 結果

(1) 臨床研究

- I. 心筋保護下心停止後の再灌流時には高周波数QRS電位が術前の39%まで低下し、その後徐々に回復する。
- II. 高周波数QRS電位の回復時間は大動脈遮断時間および術後CK-MB値と正の相関(それぞれ $r=0.80, p<0.01, r=0.81, p<0.01$)を示した。

(2) 動物実験

高周波数QRS電位(80-250 Hz)の変化と心収縮能の指標である E_{max} 、 M_w の変化は平行であり、それらの指標は相互に正の相関(それぞれ $r=0.72, p<0.01, r=0.61, p<0.01$)を示した。

4. 考察

膜構造の変化、電解質を中心とした細胞内外の環境、細胞のエネルギー代謝変容は細胞間興奮伝達に大きく影響を及ぼすと考えられる。何らかの要因で細胞間興奮伝達が障害された場合、心筋全体としての電気生理学的伝導性の変化は高周波数 QRS 電位の解析により評価可能である。QRS 電位における高周波数成分の解析は、こうした電気生理学的伝導性の変化から心筋の状態を観察する方法と考えられる。

これまでも成人開心術においては、高速フーリエ変換を使用した QRS 複合の周波数分析が行われている [4-6, 62]。二次元周波数解析後の power density spectrum において 40Hz を境界とした区間面積 ($\mu\text{V}\cdot\text{Hz}$) を求めて、これを QRS 複合の高周波数成分として評価している。それによれば、術前に冠動脈疾患を有していない成人弁膜症患者においてのみ心係数と体外循環離脱時の高周波数成分面積と有意な相関を認めたが、術前心筋虚血の影響を有する冠動脈バイパス術患者では心係数と高周波数成分面積と有意な相関を認めていない [62]。また、補助循環の離脱が可能であった症例では高周波数面積の回復が認められ、離脱不能であった例では高周波数電位はさらに低下したことが報告されている [6]。高周波数電位の RMS voltage での評価では、術後心不全に対する Intraaortic balloon pumping 使用例や術後 CK-MB >100 IU の症例では心拍動再開時の RMS voltage が低値を示したと報告している [5]。いずれの場合も、補助循環の使用の有無、心拍出量といった間接的な評価により心機能と高周波数 QRS 電位との関連性が検討されていた。さらに、術前心筋虚血の影響も加わり、高周波数 QRS 電位解析の開心術における役割は曖昧であった。

本研究では、術前虚血の影響のない小児開心術例を対象とすることにより、開心術における高周波数 QRS 電位の変化の本質を明らかにした。さらに、心収縮性を直接評価することにより高周波数 QRS 電位と心機能の関連性を明確にすることができた。

小児開心術例における高周波数 QRS 電位の変化の影響因子の分析から、一連

の高周波数 QRS 電位の変化には大動脈遮断時間、すなわち心筋保護下心停止時間がもとも重要な因子であることを示した。さらに、高周波数 QRS 電位の回復時間という指標を新たに設定し、これと術後の CK-MB 値の間に直線相関関係を見いだした。高周波数 QRS 電位は術中の虚血の影響を反映するものであることを明らかにし、回復時間という指標により虚血障害の評価を可能にした。

また、高周波数 QRS 電位と心機能との関連性においては、補助循環の使用、心拍出量といった間接的な指標ではなく、実際の心収縮性を測定して検討した。心臓に対する前負荷、後負荷に影響されない心収縮性を評価することにより、直接的に高周波数 QRS 電位と心収縮能との関連性が明らかになった。

臨床研究は、心筋全体としての電気生理学的伝導性の変容から虚血一再灌流障害による細胞障害を観察したことにほかならない。その結果に示された虚血一再灌流障害と高周波数 QRS 電位の関連性は、虚血一再灌流障害による細胞障害とその回復過程が心筋の電気生理学的伝導性の変化とともにあることを示している。また、興奮伝達と心収縮能との関連性を心筋全体から見れば、電気生理学的伝導性の変容は収縮の同期性の変化として表れる。ある環境において心筋細胞の電気生理学的性質と機械的性質が同等に変化するとは必ずしも限らない。しかしながら、少なくとも電気生理学的伝導性の変容を来すような状態は同期性の変化を通して収縮性の変化を伴うであろう。原因の種類に関わらず、開心術のように心臓の電気生理学的伝導性を変化させるような侵襲が心臓に与えられた場合、心臓の全体の状態を知るうえで QRS 電位における高周波数成分の解析は有用なものとなりえる。

5. 結論

- I. 高周波数 QRS 電位 (80-300 Hz) の変化を測定することにより、心筋保護下心停止における心筋虚血の程度と再灌流時の心筋の回復状態を推測することが可能である。

- II. 限られた条件下では高周波数 QRS 電位 (80-250 Hz) の解析から、心収縮能の推定が可能である。
- III. QRS 電位における高周波数成分の解析をとおして、電気生理学的伝導性の変化から心筋の状態を観察することは開心術後の非観血的検査として有用と考えられる。

6. 今後の展望

(1) 新しい心筋障害の指標

本研究において QRS 電位の高周波数成分は新しい心筋障害の指標としての可能性が示唆された。これを心筋障害の指標として確立するには、既に心筋障害の指標として確立されている経時的な測定による CK-MB 総流出量や他の生化学的指標 (トロポニン) との関連性を分析する必要がある。これにより QRS 電位の高周波数成分の解析が、小児開心術における心筋保護下心停止による心筋虚血の術中指標として期待できる。

(2) 大動脈遮断解除後の高周波数 QRS 電位の回復と心機能の関連

動物実験では高周波数 QRS 電位 (80-250 Hz) の解析から、心収縮能の推定が可能であると考えられる。この結果が、開心術後の心臓においても同様であるかは不明である。しかしながら、小児開心術後においては実際に心機能を評価することは困難である。より臨床に近い開心術モデルあるいは単離心臓を使用した動物実験により、さらに QRS 電位の高周波数成分と心機能の関連を解析することで本格的な臨床応用へ近づくとと思われる。

(3) 高周波数 QRS 電位の個体間での比較の限界

QRS 電位のみならず心電図における各指標は成長発育により変動することから、QRS 電位における高周波数成分も年齢や心奇形によって異なることが予想される。したがって、小児先天性心疾患においては高周波数電位の個体間での比較は現時点では困難である。同様に QRS 電位における高周波数成分の絶対値

の持つ情報の分析は行えていない。正常児を含めた分析を行うことにより、QRS 電位における高周波数成分の絶対値の持つ情報が解析できるであろう。

(4) 至適な周波数帯の選択

今回使用した周波数帯は臨床例では 80Hz-300Hz、動物実験では 80Hz-250Hz であった。開心術における心筋障害、心機能の推測に適した周波数帯域がそれぞれ異なる可能性がある。また、最適周波数帯域は背景にある心疾患の種類や重症度あるいは年齢により異なる可能性もある。今後は至適な周波数帯域の検討が必要である。

7. 学会発表

本論文の一部は第 27 回日本心臓血管外科学会および第 50 回日本胸部外科学会総会において発表した。

小児開心術における体表面加算平均心電図
—大動脈遮断解除直後の変化—
第 27 回日本心臓血管外科学会 1997.2.13

微小電位の変化から心機能の推測は可能か
第 50 回日本胸部外科学会総会 1997.10.2