

論文の内容の要旨

論文題目 造影 CT 画像からの心臓内腔の 3DCG 立体再構成による
小児心室中隔欠損症診断に関する研究

氏名 瀬尾 拓史

要約 小児の心室中隔欠損症 (Ventricular Septal Defect, VSD) 47 症例に対し、平均推定実効線量 0.24 mSv の低線量心臓造影 CT 画像からリアルタイムに心臓内腔の 3 次元コンピュータグラフィックス (Three Dimensional Computer Graphics, 3DCG) を作成し、裸眼立体視ディスプレイ上で任意の方向からの確認や、任意の平面による断面生成を行い、3DCG の微調整 (閾値調整) もその場で行えるようにした上で、小児心臓を専門とする 12 名の医師が各症例につき 4 名で VSD の位置診断を行った。その結果、閾値調整を各医師が行う場合には CT 画像読み込み後平均 2 分 28 秒で、予め閾値が固定された場合には平均 1 分 0 秒にて、医師 4 名全員が 72.34% (34 症例) で位置診断を、87.23% (41 症例) で VSD の同定を正しく行うことが出来た。半数の医師 2 名以上が正しく位置診断を行えたのは 97.87% (46 症例) であり、医師全員が位置診断を誤診したのは 1 症例だった。

また、3DCG 上での各医師による VSD の径 (長径及び短径) の計測値は、計測時の閾値が異なったり、異なる医師が同じ閾値で計測した場合においても、そのばらつきは 95% 信頼区間で 1 mm 以下であり、不適切な閾値設定による位置診断の誤診は 0.53% (のべ $47 \times 4 = 188$ 回中 1 回) だった。

本研究により、低線量心臓造影 CT 画像から適切に 3DCG を作成し、裸眼立体視ディスプレイを活用することで、これまで主に心臓外の血管構造や病変を確認する目的で撮影されていた心臓造影 CT 画像から VSD の位置診断及び径の計測を行えることが示された。

背景 先天性心疾患は細かくは約 70 種類に分類され、国内・国外ともに生産児の約 1% に発生し、約 4 人に 1 人が外科的手術を必要とする。同じ病名でも無数の差異が存在し、手術では正確な立体構造把握が必要だが、小児の心臓はその拳程度の大きさしかなく、手術では視野が限定され、術者でも十分な観察が容易ではなく、複雑な立体構造を十分に把握するだけの空間も時間も確保出来ない場合が多い。手術成績や安全性を高めるためには、手術前に心臓の立体構造を可能な限り細かく把握し、十分な手術計画を立案出来ることが重要である。

VSD は先天性心疾患の約 20~30% を占め、心室中隔のどの部位に存在するかによって分類される。存在部位によって手術方法が異なるが、心室切開は将来的な心不全や不整脈誘発の危険性があるため極力行われたい。VSD が三尖弁に接するか近い位置にある場合には右心房切開を行い三尖弁越しに、肺動脈弁に接するか近い位置にある場合には肺動脈起始部

の切開を行い肺動脈弁越しに VSD を閉鎖し、VSD が心尖部に近く三尖弁越しにも肺動脈弁越しにも観察出来ないと想定される場合に限り右心室を切開する。

VSD は通常、心エコーによって存在及び存在位置の診断が行われる。しかし心エコーでは、ある平面による心臓の一断面しか一度に観察出来ず、同じ位置診断であっても大動脈騎乗など他の構造物との関係で具体的な位置には様々な場合があり、複数の医師で確認しても VSD 全体の立体的な形状や弁との位置関係などの十分な把握が困難なこともある。手術時における VSD の見え方を術前に確認出来れば大きな手助けとなるが、心エコーによる術野の再現は不可能である。

術前には心エコーに加えて心臓造影 CT 検査を行う場合が多いが、心エコーでは確認出来ない心臓外の血管構造や病変などの把握を主な目的としており、VSD を含む心臓内部の病変は大雑把な確認しか行われれない。なお、日本における小児心臓造影 CT 検査 1 回あたりの被ばく量の参考値は実効線量 5~6 mSv であり、約 800 人に 1 人の割合で癌を発症するリスクに相当する。そのため世界的に被ばく量の低減が進められており、近年では実効線量 1 mSv 以下でも十分な画質の CT 画像を取得出来るようになっている。仮に実効線量を 0.2 mSv まで低減出来れば、癌の発症リスクは約 27,000 人に 1 人に抑えることが出来る。東京大学医学部附属病院では低線量心臓造影 CT 撮影に積極的に取り組んでおり、多くの CT 画像を保有しているが、CT 画像読影レポートにて VSD の位置診断が記載されることはあるものの、細かい評価は行われていない。

関連研究 2019 年の Nau らの報告 (*Journal of cardiovascular computed tomography*, vol. 13, p. 226–233, 2019) では、推定実効線量約 0.32 mSv の低線量心臓造影 CT 画像の多断面再構成 (Multiplanar Reformation, MPR) により VSD の位置診断及び径の計測を行い、96.4%で術中診断と同じ診断を行えたとしている。但し、評価はシニア放射線科医 2 名のみによって行われており、位置診断までに要した時間は示されていない。また、結局は平面画像を用いて診断及び計測が行われており、VSD の立体的な形状は不明である。

方法 そこで本研究では、VSD 47 症例の低線量心臓造影 CT 画像から閾値による二値化によってリアルタイムに 3DCG を生成し、裸眼立体視ディスプレイにて閲覧出来る、株式会社サイアメントにて開発中のソフトウェア SCIEMENT® Viewtify®を用いて、VSD の位置診断及び径の計測を行えるかどうか、位置診断までに要する時間、及び、閾値や医師の違いによる計測値のばらつきを評価した。

閾値とは境界値のことであり、CT 画像の各ピクセルに記録されている値である CT 値が閾値より高ければ黒、低ければ白というように 2 種類に分類することで二値化される。二値化の結果のどちらか一方の領域のみを取り出して 3 次元空間上に表示することで 3DCG が生成される。

評価は小児心臓を専門とする小児科 8 名、心臓外科 4 名の計 12 名で行い、各症例を医師

4名が担当し、医師1人あたり14～16症例を担当した。裸眼立体視ディスプレイ上に3DCGが表示されてから位置診断までの時間を計測し、診断後にはVSDの径の計測を行った。適切な閾値の設定に時間がかかると考えられたため、各症例で医師2名は、閾値を自由に調整して上記評価を行った後、VSDの位置診断をするにあたって許容可能と考えられる閾値の範囲も設定し、当該範囲の midpoint の閾値での径の計測も行った。この2名の医師による midpoint の閾値の平均を固定閾値として、残り2名の医師は閾値調整を一切行わない条件で位置診断及び径の計測を行った。

また、各医師に対して評価後には5段階または3段階評価によるアンケートを計4問、及び口頭による自由コメントを行った。

結果 要約に記載したものの他、各症例で同じ医師が1つの閾値を定めた場合と、閾値の範囲を定めて midpoint 閾値を用いた場合とでは、設定された閾値、計測された径共に有意差があったが、径の差の95%信頼区間は最大0.5 mmであり、異なる医師がそれぞれ1つの閾値を定めた場合は閾値に有意差はあったが計測された径に有意差は無く、異なる医師が同じ閾値で計測した径にも有意差は無く、径の差の95%信頼区間は最大で0.9 mmであった。また、各症例における医師4名によるVSDの径の計測時の閾値の標準偏差と計測値の標準偏差との間の相関は認められなかった。

アンケートでは「裸眼立体視が特にVSDの診断において役立ちそうか」に対する5段階評価で「4. ある程度役立つ」「5. 非常に役立つ（ぜひ使いたい）」がそれぞれ7名、5名であり、「立体視である必要があるか」に対する3段階評価で「1. 平面ディスプレイで全く問題ない」「2. どちらでも良い」「3. 立体視ディスプレイのほうが良い」がそれぞれ3名、4名、5名であった。また、「今回の評価に参加して、CTでVSDの位置診断が出来ると思ったか」に対する5段階評価で「4. ある程度出来る」「5. とても出来る」がそれぞれ8名、4名であり、「これまで、CTでVSDの位置診断が出来ると思っていたか」に対する5段階評価で「1. 全く思っていなかった」「2. あまり思っていなかった」「3. どちらでもない」「4. ある程度思っていた」がそれぞれ2名、4名、5名、1名であった。

考察 低線量心臓造影CT画像から適切に3DCGを作成し、裸眼立体視ディスプレイを用いて評価することで、VSDの位置診断を7割から9割以上で行えることがわかった。本研究では敢えてCT画像のみからのVSDの位置診断を行ったが、実際の臨床ではまず心エコーによる評価が行われるため、心エコーによる位置診断の情報を利用すれば、ほぼ100%でCT画像を用いた位置診断を行える他、他の構造物との関係などの位置診断以上の情報を得られると考えられる。また、適切な閾値の設定に1分以上かかるが、閾値に多少の差があったり、評価する医師が異なっても、VSDの径の計測値のばらつきは1 mm以下であり、不適切な閾値による位置診断の誤診は0.53%であったことから、時間をかけて厳密に閾値設定を行おうとせずとも、VSDの位置診断及び径の計測を行えると言える。CT画像から生

成された 3DCG による、裸眼立体視ディスプレイを用いた VSD の位置診断、及び閾値設定と VSD の大きさとの関係を詳細に調べた研究はこれまで報告されておらず、アンケート結果からも、これまで CT 画像で出来るとはあまり思われていなかった VSD の位置診断及び径の計測が可能であることが示され、裸眼立体視が VSD の位置診断の新たなツールの 1 つとなる可能性が示された。