

主論文

Image quality of coronary arteries on non-electrocardiography-gated high-pitch dual-source computed tomography in children with congenital heart disease

(dual-source CT を使用した high-pitch 心電図非同期 CT による小児先天性心疾患患児における冠動脈描出能)

【緒言】

先天性心疾患(CHD)の小児におけるCTA(CT Angiography)の基本的役割は心臓の解剖学的構造、動脈系、肺動脈系、冠動脈、および無脾症や多脾症などの症候群を評価することである。冠動脈異常(CAA)の発生率は約1.0%で、CAAはしばしばCHDと関連している。CAAを術前に同定することはCHD児の潜在的な冠動脈関連合併症を予防するために臨床的に重要である。冠動脈狭窄または閉塞は、大血管転位のスイッチ手術を受けた患者の6.7%で起こり得るとされており、冠動脈の術後評価も重要である。これまでにCHD児の冠動脈評価のためのCTAの臨床的有益性についていくつかの研究が報告されているが、それらは心電図同期下でのCTAであった。適切な心電図位相をもたらす心電図同期技術は心臓イメージングの標準技術であるが、心電図の使用は患者の準備においてより時間を要し、心電図電極からアーチファクトが生じる可能性がある。CHDを有する小児は心臓外奇形をしばしば有し、これらの奇形の評価もまた重要である。心電図電極からのアーチファクトは、心臓外の構造を評価する際に障害となりうる。成人では、high-pitchのdual-sourceCT(DSCT)により心電図同期を用いなくても、近位冠動脈の描出が可能との報告がある。一方、小児では、CHDの評価において心電図非同期でのhigh-pitchDSCTの有用性は報告されているが、心電図非同期のhigh-pitchDSCTでの冠動脈の視認性に焦点をあてた研究は限られている。また、CHD児の冠動脈の画質に及ぼす因子については十分に検討されていない。したがって、本研究では、CHD児の心電図非同期のhigh-pitchDSCTにおける冠動脈の画質を評価し、画質に影響を及ぼす要因を検討した。

【材料と方法】

患者

2014年1月から2015年3月の間に岡山大学病院で心電図非同期のhigh-pitchDSCTを施行された6歳以下の174名の患児を後方視的に検討した。CT検査前の1ヶ月以内に心電図検査が施行されていない32名の患者は除外した。よって、142名の患児が本研究の対象となった。

CTプロトコル

全症例はdual-source128-sliceCTsystem(DSCT)(Somatom® Definition Flash; Siemens Healthcare, Forchheim, Germany)を用いて、心電図非同期、高速らせん撮影法で撮影された。全患児とも自由呼吸下で、必要に応じて鎮静をかけてCT検査を行った。非イオン性低浸透圧造影剤

(Iopamiron 300, Bayer, Osaka, Japan)を用い、パワーインジェクターを用いて末梢の静脈から注入した。投与速度は 0.5~1.5 ml/sec、投与量は体重当たり 2ml/kg とした。造影剤投与後 2 秒後に撮影を開始した。collimation 2×128×0.6 mm、gantry rotation speed 0.28 秒、pitch factor 3.2 の条件で撮影を行った。得られた画像を sinogram-affirmed iterative reconstruction (SAFIRE)を用いて再構成を行った。

画像処理

ワークステーションは Synapse Vincent (Fujifilm Medical Systems, Tokyo)を使用した。画像評価に Volume rendering (VR)や multiplanar reformation (MPR)を用いた。すべての画像は 2 名の放射線科医によって独立に評価された。冠動脈の 4 セグメント—近位 RCA、LM、近位 LAD、近位 LCX—の画質を視覚的に評価した。「近位」は冠動脈の長さや部位によって定義した。

画質は以下のように 5 段階で評価した。5: モーションアーチファクトなくはっきりみえる。4: 軽度のモーションアーチファクトがあるが、良好な画質。3: 明らかなぼやけがあり、中等度の画質。2: 冠動脈はややはっきりせず、他の構造物の可能性もある。1: ぼやけが強く、冠動脈を視認できない。

2 名の放射線科医の間でスコアの不一致があった場合、より低い方のスコアを採用した。スコア 3,4,5 を診断に十分な画質とした。

被曝線量

記録されている CT dose index(CTDI)および Dose length product(DLP)から実効線量を算出した。

統計解析

観察者間一致率は weighted kappa で評価した。心拍数データは CT 検査前 1 ヶ月以内に施行された心電図検査から取得した。4 つのセグメントすべてで良好な画質だった群と、少なくとも 1 つのセグメントで診断に不十分な画質を有する群とに分け、2 つの群の間で年齢、体重、心拍数を Mann-Whitney U test で評価した。また、画質の予測因子を多変量ロジスティック回帰分析で評価した。

SPSS software ver. 22.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) 、 R version 3.1.2(The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) を用い、P 値は 0.05 未満で有意差ありとした。多重共線性の評価に VIF を用いた。

[結果]

142 症例には様々な先天性心疾患が含まれていた。平均月齢は 26.4 ± 23.4 ヶ月、平均体重は 9.13 ± 4.74 kg、平均心拍数は 117 ± 23 beats/min、平均 CTDI は 0.83 ± 0.35 mGy、平均 DLP は 22.5 ± 11.8 mGy·cm、平均実効線量は 1.30 ± 0.57 mSv だった。冠動脈異常は 13 例でみられた。

全 568 セグメントが評価された。観察者 1 の平均画質スコアは 3.48 ± 1.25 、観察者 2 の平均画質スコアは 3.44 ± 1.04 だった。観察者間一致率は良好だった ($\kappa = 0.71$)。全 568 セグメントのうち、457 セグメ

ント(80.5%)で良好な画質が得られた。診断に不十分な画質が最もよくみられたのは近位 LCX(40.8%)、みられなかったのは LM(7.0%)だった。76 患児は 4 セグメントすべてで良好な画質だった。66 患児は少なくとも 1 セグメントで診断に不十分な画質がみられた。4 つのセグメントすべてで良好な画質だった群と、少なくとも 1 つのセグメントで診断に不十分な画質を有する群間で、月齢は 30.6 ± 20.7 ヶ月と 21.6 ± 25.5 ヶ月、体重は 10.3 ± 4.20 kg と 7.82 ± 5.00 kg、心拍数は 113 ± 21.6 beats/min と 123 ± 23.7 beats/min であり、それぞれに有意差を認めた。多変量ロジスティック回帰分析では体重が画質の重要な予測因子と明らかにした(odds ratio 1.228; p=0.029)。VIF は 6 未満であり、多重共線性はなかった。

[考察]

心電図非同期の high-pitch DSCT で近位冠動脈の 80.5%が良好な画質を有していた。これは心電図非同期の high-pitch DSCT で CHD 児の冠動脈評価が可能であることを示唆する。4 セグメントすべてで良好な画質を有していたのは 53.5%であり、完全大血管転位のような冠動脈の詳細な解剖の評価が必要な疾患においては、術前情報としては不十分な可能性がある。LM で平均スコアが最も高かった。近位 LCX で平均スコアが最も低かったが、これは LCX のサイズが小さいことが原因と思われた。

心電図非同期の DSCT を用いた小児冠動脈の画質評価の報告がこれまでに2つある。Ben Saad らは pitch 1.4 の心電図非同期の DSCT での冠動脈の診断率は左冠動脈が 43%、右冠動脈が 15%と報告している。Bridoux らは pitch 2.0 の心電図非同期の DSCT で近位冠動脈の 36.5%が検出できたと報告している。これらの研究よりも我々の研究の方が冠動脈の検出率が高かった理由として、患者群の月齢が高かったことが考えられる。それに加え、pitch 3.2 とより高い pitch factor を用いることで、より高い時間分解能を得られたことがよりよい画質を得られた原因かもしれない。一方、心電図同期の DSCT を用いた CHD 児の冠動脈の画質評価の報告もいくつかある。Ben Saad らは心電図同期の DSCT での冠動脈の診断率は近位左冠動脈の 91%、近位右冠動脈の 84%と報告している。Goo らは冠動脈起始部および近位部の 97.1%が同定できたと報告している。Pache らは近位部および中間部の冠動脈の 77.3%が同定できたと報告している。Nie らは近位部および中間部の冠動脈の 70%が良好な画質だったと報告している。我々の研究とこれらの研究とは患者背景や評価法などが異なっているため単純には比較できないが、近位冠動脈の画質は心電図非同期の high-pitch DSCT よりも心電図同期の DSCT の方がよいようである。しかし、心電図非同期の high-pitch DSCT は心電図電極からのアーチファクトがないため、心臓外の構造を評価できるという利点がある。心電図非同期の high-pitch DSCT でも 80.5%の近位冠動脈は良好な画質が得られたことから、特に冠動脈評価と同様に心臓外構造の評価が必要な場合は心電図同期の DSCT の代わりとなりうる可能性がある。

多変量ロジスティック回帰分析では体重が冠動脈の画質に及ぼす独立した因子だった。これは低体重の患者では体の大きさがより小さく、空間分解能が低下するためと推察される。過去の報告では年齢も画質に及ぼす因子と報告されているが、年齢も体重と同様に体のサイズを反映すると思われる。Stoltzman らの成人での報告では、high-pitch DSCT でも心拍数が冠動脈の画質に及ぼす因子と報告されている

が、我々の研究では心拍数は独立した因子ではなかった。我々の研究のように6歳までのCHD児では、時間分解能よりも空間分解能の方が画質により強い影響を与えている可能性がある。

我々は **high-pitch mode** を使用した。それに加え、より低い電圧、逐次近似を用いることで画質を向上させた。よって、我々の研究では画質を維持しながら低実効線量を達成した。

本研究の限界としては、今回の研究が後方視的研究であること、単施設での研究であること、心電図同期の **DSCT** を用いた冠動脈の画質との比較ができていないこと、心拍数のデータは **CT** 撮像中のものではないことが挙げられる。2名の放射線科医間でスコアの不一致があった場合にはより低い方のスコアを採用したことで、冠動脈の診断率が低下した可能性はある。また、我々は「近位」冠動脈の評価を行ったが、外科医が術前に要求するような詳細な冠動脈の解剖の評価は行えておらず、今後の研究が必要と思われる。

【結論】

DSCT を使用した **High-Pitch** 心電図非同期 **CT** では **CHD** 児の近位冠動脈を良好に描出した。より軽い体重が冠動脈の画質劣化に及ぼす因子であった。