

低管電圧撮影の実際

兵庫医科大学病院 放射線技術部
名定 敏也 先生

X線CT撮影では、多くの撮影パラメータを設定する必要がある。また、これらの撮影パラメータを変更することで、画質に様々な影響がある。今回は、多数ある撮影パラメータの中で管電圧について述べる。

管電圧の変更によって、画像ノイズ、低コントラスト検出能、被ばくに影響がある。画像ノイズの要因として量子ノイズ、システムノイズが挙げられる。特に量子ノイズが大きな要因となる。管電圧を変更することで、X線量子数が変化するため、それに伴って画像ノイズが変化する。画像ノイズはX線量子数の平方根に反比例するという関係があり、管電圧を低くすれば、X線量子数が減少し画像ノイズは増加する。画像ノイズは、低コントラスト検出能と密接な関係があり、画像ノイズが増加すれば低コントラスト検出能は低下する。一方で、管電圧を低くすることでX線エネルギーが低下し、低コントラスト検出能が向上する。このように低管電圧撮影を行うことで、低コントラスト検出能について相反する影響がある。

Fig.1は、造影剤を希釈したものを水に封入したファントムを管電圧を変化させて撮影したものである。管電圧が低くなると、それに伴いCTDIwは低下し、SDは増加する。この時の信号のCT値は、管電圧の低下に伴って上昇し、ベースとのコントラストが高くなっている。このときの信号1のCNRは、140kVに比して120kVの方が高値となっている。これは画像ノイズが増加したことより、エネルギーが低下しコントラストが向上した影響の方が強かったといえる。一方で、120kV、100kV、80kVではCNRに変化はない。このことから、信号1に関しては、同等のCNRを得るためには、120kVで撮影するより80kVで撮影した方が被ばく低減(CTDIwで約1/3)につながるという。逆に信号2、3は、管電圧の低下に伴ってCNRは低下した。これは、画像ノイズが増加したことの方がコントラストの向上より大きな影響があったといえる。このように対象によって、低管電圧撮影による影響が変わってくる。そのため、目的に応じた管電圧、mAs値設定が必要となる。

低管電圧撮影の目的として、画質向上、被ばく低減、造影剤減量が挙げられる。当院では、主に頭部、腹部、小児領域で低管電圧撮影を行っている。

まず、頭部領域における低管電圧撮影の目的は、画質向上である。頭部領域では低コントラスト検出能が重要となる。特に超急性期脳梗塞の診断では、Early Signの検出が重要となる。当院のCT装置は比較的実効エネルギーが高いため、低コントラスト検出能を向上させることを目的としての低管電圧撮影である。撮影条件は、管電圧100kV、CTDIwは120kVで撮影を行っていた時と同等(63.9mGy)である。また、画像再構成関数もH37s medium smoothからH45s medium smoothに変更し面内分解能の向上を図った。これに伴い画像ノイズが増加するが、逐次近似応用再構成を併用することで対処した。Fig.2に管電圧120kV、100kVで撮影した頭部単純CT画像を示す。管電圧100kVで撮影した方が尾状核、レンズ核と内包との境界が明瞭となりEarly Signの検出能も向上した。また、白質髄枝の皮質への入り込みも観察しやすくなった。また、頭蓋底のように骨に囲まれた部分の画質が懸念されたが、特に問題にはならなかった。

次に腹部領域においても、基本的には画質向上が主な目的となる。低管電圧撮影をすることで、造影剤のCT値が上昇し、コントラストが向上するため、小さな腫瘍や淡い腫瘍染の検出能の向上が図れる。撮影条件は、管電圧100kV、CTDIvolは120kVで撮影を行っていた時と比べ30%低減している(CTDIvol:19.4→13.6)。線量を低下させたことによる画像ノイズ増加に対し、逐次近似応用再構成を用いて画像ノイズ低減を図っている。Fig.3に腹部造影CTのEarly Phaseを示す。血管影などを見ると、100kVの方が造影剤のCT値が上昇していることがわかる。また、脾実質のCT値も120kVに比べ15~20HU上昇しており、乏血性の腫瘍の検出能も向上した。

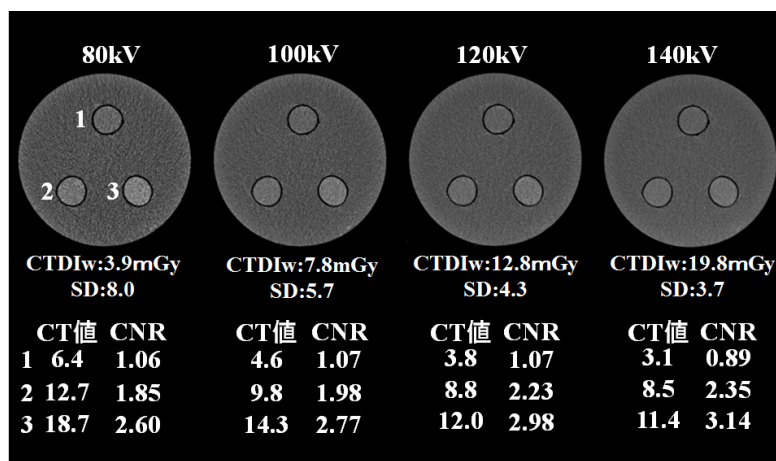


Fig.1 管電圧とCNR

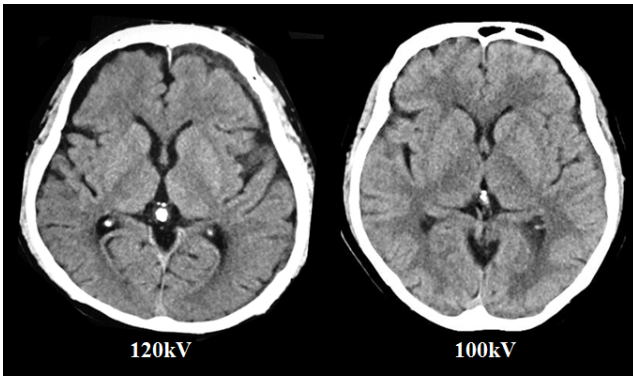


Fig.2 頭部単純CT

Late Phaseにおいても肝実質のCT値が10~15HU上昇し造影剤のWash Outも観察しやすくなった。

小児領域では被ばくには最大限の注意が必要である。また、被写体コントラストの低い領域でもある。そのため、画質向上、被ばく低減、造影剤減量を目的として低管電圧撮影を行っている。撮影条件は、管電圧80kV、CTDIwは120kVで撮影を行っていた時と比べ20~30%低減している。Fig.4に小児頭部単純CTを示す。従来からコントラストを向上させるために100kVで撮影を行っていたが、80kVで撮影することでさらにコントラストが改善されている。また、小児頭部領域では髄鞘化の程度が重要となる。80kVで撮影することで髄鞘化の程度も評価しやすくなった。Fig.5に小児躯間単純CTを示す。胸腺と大血管とのコントラストが改善されている。また、線量を30%低減しているが逐次近似応用再構成を併用することでノイズも従来と同等となっている。Fig.6に小児躯間造影CTを示す。この症例では、線量を120kV撮影時に比べ50%低減、造影剤減量し撮影している。血管のCT値も約280HUで3D表示に関しても動脈、肺動脈、肺静脈、腫瘍を分離して表示することも可能である。

低管電圧撮影をすることで、画像ノイズ、低コントラスト検出能、被ばく線量に影響があると述べたが、面内分解能に変化はないのかということであるが、装置によってMTFに変

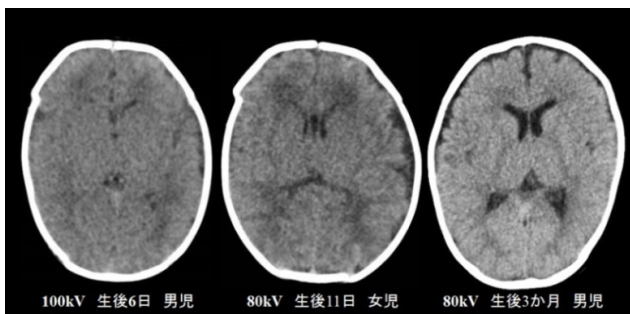


Fig.4 小児頭部単純CT

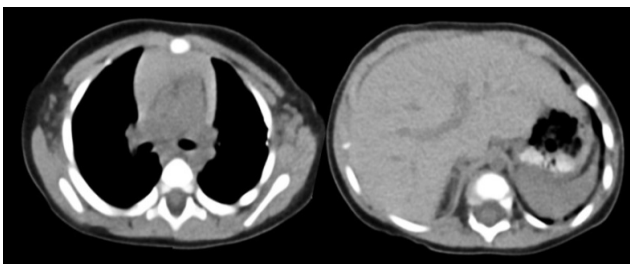


Fig.5 小児躯間単純CT

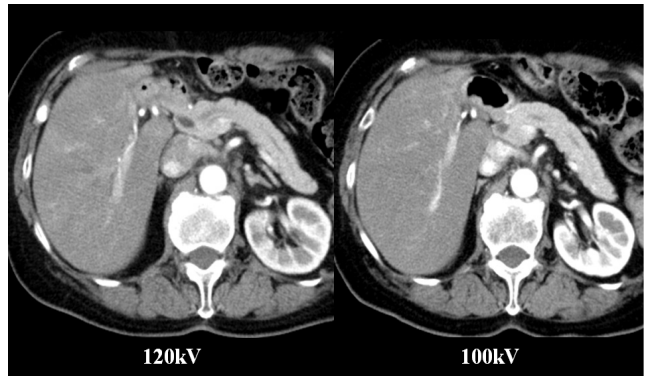


Fig.3 腹部造影 CT (Early Phase)

化が見られることがある。管電圧を低くした分、線量を担保するためにmAs値を高く設定する必要がある場合、管電流が高くなり小焦点から大焦点に切り替わる場合がある。この場合、MTFに劣化が見られる。また、大電流を流すため焦点が熱膨張をおこす可能性がある。この場合も、MTFに劣化が見られる。当院で使用しているCT装置では、焦点サイズは1つで、管球の冷却効率が良いためMTFに変化は見られない。また、同一のCTDIwで管電圧を変化させて撮影した場合、SDが同等となるという内容の話をしたが、それに対し、会場より管電圧が低いほうがSDが高値になるのではないかというご質問をいただいた。講演で用いたファントムは、18cmΦと小さなファントムであったためこのような結果となった。実際にファントム径を30cm、40cmと大きくすると、ご指摘のとおり管電圧が低いほどSDは高値となった。また、ファントム径が大きいほどこの傾向は大きくなった。これは、装置の実効エネルギーが高いことが原因の1つと推察される。

最近、低管電圧撮影を行うことで被ばく低減が可能といわれることが多い。しかし、実際に被ばく低減可能なのか疑問がのこる。当院での低管電圧撮影に関しても、コントラストの改善が主な目的であり、被ばく低減については逐次近似応用再構成に依るところが大きい。造影検査では、低管電圧撮影によって造影剤のCT値が上昇するため、120kV撮影時と同等のCNRを得ようとするならば、被ばくを低減させることは可能である。同様に、造影剤減量も可能になる。この場合、被ばく低減と造影剤減量はトレードオフの関係にあり目的に応じて設定が必要である。

最後に、管電圧だけでなく様々なパラメータと画質の関係、使用している装置の特性を把握したうえで、撮影条件を最適化し、画質向上や被ばく低減、造影剤減量に努める必要がある。

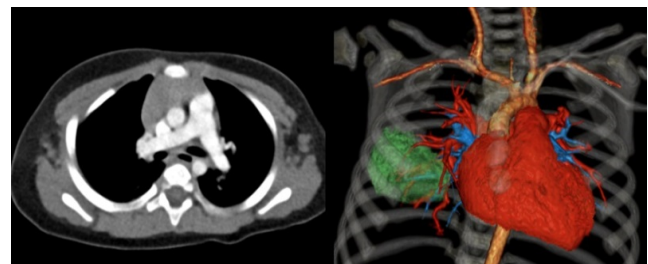


Fig.6 小児躯間造影 CT