



8. 造影CTの進化と将来展望

尾田 済太郎 熊本大学病院画像診断・治療科

造影CT検査は、画像診断精度と安全性の両面において飛躍的な進化を遂げてきた。特に、非イオン性低浸透圧ヨード造影剤の開発、造影理論に基づく造影剤注入法の確立、低管電圧撮影技術の導入、ならびに dual energy CT (DECT) の臨床応用は、造影CT検査の安全性および画像品質の向上に大きく寄与している。近年では、フォトンカウンティングCT (PCCT) の臨床普及にも大きな期待が寄せられており、新たな技術革新が加速している。本稿では、これら造影CT検査技術の進化過程を概観し、将来の展望について考察する。

CT用ヨード造影剤の開発と歴史

X線検査において、病変と周囲組織とのX線吸収係数の差が小さい場合、病変の描出に限界が生じる。この課題を解決するため、X線吸収係数の高いヨードを利用した造影剤の開発が1920年代に開始された。以降、より安全かつ効果的な画像診断を実現すべく、CT用ヨード造影剤の改良が継続的に進められてきた。CTが臨床に導入され始めた当初に使用されたヨード造影剤は、それ以前から血管造影や尿路造影に用いられていたイオン性モノマー造影剤であった。これらの造影剤は、水に溶解するとイオンに解離し、高い浸透圧を示した。この高浸透圧性が、注入時の血管痛や熱感、さらにはアレルギー様反応、腎機能障害といった副作用の原因となることが明らかとなり、造影CT検査の安全性向上が当時の喫緊の課題であった。この課題を解決する大きなブレイクスルーとなっ

たのが、1970年代に登場した非イオン性ヨード造影剤である。これらの造影剤は、分子構造中にヨード原子を含みつつも、水中でイオンに解離しない非イオン性の性質を有している。非イオン性化により、同じヨード濃度であってもイオン性と比べて浸透圧が大幅に低下し、生体への負担が軽減された。さらに、ヨード造影剤の浸透圧をより生理的なレベルに近づけるため、ダイマー（二量体）構造を有する非イオン性ヨード造影剤が開発された。これは、2つのヨード含有ベンゼン環が共有結合で連結された非イオン性ダイマー型ヨード造影剤であり、高いヨード濃度を維持しつつも、血漿と同等の浸透圧を持つ等浸透圧造影剤を実現した（国内では等浸透圧造影剤は造影CT検査に対して未承認である。一方、海外では造影CT検査にも承認されている）。非イオン性低浸透圧造影剤の登場により、造影剤の重症副作用発生率はイオン性造影剤と比べて約1/5に低減し¹⁾、造影CT検査の安全性および忍容性が飛躍的に向上した。

造影剤の剤型・規格においても、安全かつ効率的な使用をめざした改良が進められてきた。従来、バイアルに入った造影剤を検査室でシリンジに吸い上げて使用する方法が一般的であった。しかし、1993年に、あらかじめ造影剤が充填されたシリンジ製剤（プレフィルドシリンジ製剤）が市場に導入され、その後、本邦において急速に普及した。プレフィルドシリンジ製剤の導入により、薬剤の調製ミスや細菌汚染のリスクが低減し、検査準備時間の短縮にも大きく寄与している。また、プレフィルドシリンジ製剤の普及と連動して、CT用インジェク

タの開発も進展した。近年のプレフィルドシリンジ製剤にはICタグ〔radio frequency identification : RFID (高周波識別子)〕が貼付されており、このICタグには、造影剤の濃度、容量、ロット番号、使用期限、耐圧、使用履歴などの情報が記録されている。これらの情報は、連動するインジェクタで読み取ることができ、薬剤管理の最適化と安全性の向上が図られている（図1）。

このように、CT用ヨード造影剤は、初期のイオン性高浸透圧イオン性造影剤から非イオン性低浸透圧造影剤へと進化し、さらに、プレフィルドシリンジ製剤という剤型・規格の進歩も相まって、現在の造影CT検査は高い安全性と効率性を両立している。これらの技術革新は、画像診断技術の発展を支える重要な要素であると言える。

一方、本邦におけるCT用ヨード造影剤には、いくつかの課題も存在する。まず、薬価の問題があり、薬価改定のためにプレフィルドシリンジ製剤の価格が下落しているため、製造コストに見合わない価格設定となり、不採算品となるリスクが高まっている。加えて、原料価格および製造コストの高騰、中国や新興国におけるヨード造影剤の需要拡大も影響し、ヨード造影剤の安定供給が課題となりつつある。さらに、本邦特有であるプレフィルドシリンジ製剤の運用では、シリンジの製造コストやシリンジ廃棄コスト、残液廃棄といったコスト効率性の問題もある。そのため、海外では主流である大容量ボトル製剤（2025年5月時点で国内未承認）やマルチペーシェント用CTインジェクタの導入が本邦でも進められている（図2）。これらの取り組み