

小角散乱ユーザーグループ

X線繊維回折による骨格筋ミオシンフィラメントの構造と動態

大島 勘二¹、武澤 康範²、杉本 泰伸²、小林 孝和³、若林 克三²

1 阪大臨床医工、2 阪大院基礎工、3 芝浦工大電子工

放射光 X 線を利用した X 線繊維回折法によってカエル骨格筋ミオシンフィラメントの構造を解析した。筋肉の弛緩状態で子午軸上に観測される 42.9 nm の周期で指数付けされた一連のミオシン由来の反射は、フィラメント骨格から突き出たミオシン突起部分(クロスブリッジ)が 42.9 nm の基本周期内で 14.3 nm 間隔からずれて配列していること(摂動)によって生じる。収縮中にはクロスブリッジの基本周期は 43.5 nm、クロスブリッジ間隔は 14.5 nm と変化し、摂動構造も存在し続けた。これらの子午反射にはミオシンフィラメントの中心対称構造の干渉によるサンプリングが観測されていて、そのサンプリング間隔からクロスブリッジ配列が摂動を受けた領域(摂動領域)の中心間距離を算出できた。弛緩時では 820 ± 40 nm、収縮時では 1010 ± 40 nm となり、収縮中は摂動領域の中心間距離がフィラメントの半長(〜860 nm)よりも長かった。これはミオシンフィラメント上のすべてのクロスブリッジが摂動しているのではないことを示す。そこでミオシンフィラメントが周期の異なる 2 つの領域(規則、摂動領域)からなることを前提として、ミオシンフィラメントの骨格に沿ったクロスブリッジのモデルを構築し、弛緩、収縮時の子午反射の強度分布を最もよく説明するモデルを探索した。最適モデルでは、弛緩、収縮両状態で摂動領域がフィラメント全長の約 70% を占め、とくに収縮時では摂動領域が規則領域に挟まれていた。さらに詳細なシミュレーションの結果、クロスブリッジを形成する二つのミオシン頭部の配位が両領域で異なっていること、クロスブリッジの全体構造が両領域で異なるなど複雑な構造を持つことが明らかとなった。弛緩から等尺収縮の状態変化で両領域の長さ、摂動構造が変化し、また双頭クロスブリッジの片方の頭部がフィラメント軸に垂直に、もう一方の頭部が軸に沿った方向を向き、力発生時にミオシン頭部は平均構造として 2 つの異なるコンフォメーションをとることが示唆された。また弛緩状態における層線反射を解析し、フィラメント軸周りのミオシン頭部の向き(オリエンテーション)を解析した結果、クロスブリッジは 2 つの頭部を近づけた構造、または軸方向に隣のレベルにあるクロスブリッジの頭部と近づいた構造をとった。これから弛緩状態ではミオシン頭部間に相互作用が生じ、アクトミオシン相互作用を抑制していることが示唆された。収縮中はミオシン層線反射は著しく弱くなり、クロスブリッジのオリエンテーションの解析はできなかった。