

関節軟骨の描出

—微分干渉の原理を応用した X 線撮像技術の可能性—

永島雅文¹ 伊藤 司³ 巻刈千穂³ 清原淳子³
木戸一博³ 長束澄也³ 百生 敦⁴ 田中淳司²

¹埼玉医科大学医学部解剖学 ²同大学放射線科

³コニカミノルタエムジー株式会社 ⁴東京大学大学院新領域創成科学研究科

微分干渉顕微鏡法 (differential interferential contrast microscopy: DIC, Nomarski imaging) は、生きた状態の細胞 (非染色試料) を対象とする実験に利用される方法である。この顕微鏡は、細胞表面の近傍 (境界面の両側) で可視光線に対する物理特性が異なることを利用したものであり、微細な細胞表面の形態を可視化できるため、例えば培養細胞の運動を直接観察する際に有用である。われわれは、X 線撮影にも同様の撮像原理を適用することを企画し、被検体と検出装置の間に回折格子を組み合わせた X 線撮影システム (Talbot-Lau 干渉計) を開発した¹⁾。この技術によって X 線に対する物理特性が異なる境界面を含む

領域を示現できる可能性がある²⁾。開発目標として、軟部組織に埋もれた病理組織 (例えば乳癌) や、骨の周囲の病理変化 (例えば関節リウマチ) などの画像診断への臨床応用が期待される。

本システムの特徴は、X 線源と検出器の間に 3 枚の格子 (スリット) を設置することである (Fig.1)。格子 1 は X 線源を点光源とみなすために線源と被写体の間に置き、格子 2 と格子 3 は波の干渉によるモアレ縞を作るために被写体と検出器の間に置く。被写体の有無により生じるモアレ縞のパターンの変化を解析して、被写体が波の干渉現象に与えた影響を逆計算することにより、被写体の形状を表現するのが本システム

の撮像原理である。Fig. 2 はサクランボの果実に対するパイロットスタディの結果であり、3 種類の画像 (微分干渉像, 吸収像, 小角散乱像) が得られる。

この撮像技術を人体画像に応用する試みとして、従来は描出困難であった関節軟骨に着目した。関節軟骨の周辺では骨皮質、軟骨、関節滑液が隣接しているため、これらの境界面の示現を企画し、解剖体の手と膝に本システムを適用した。その結果、中手指節 (MP) 関節と膝関節の関節軟骨を可視化することに成功し、膝関節では関節半月や側副靭帯も描出できた (Figs. 3, 4)。実験の過程で、皮膚に覆われた状態での画

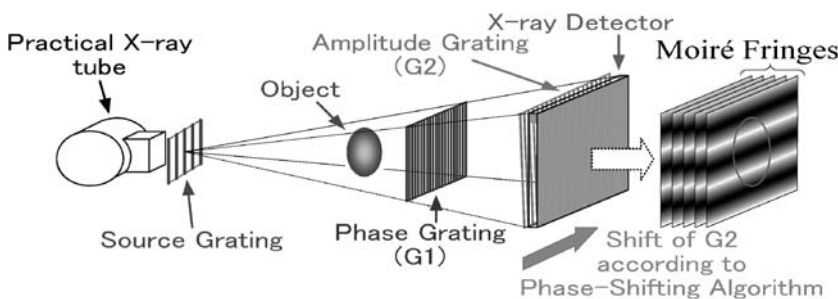


Fig. 1 Basic components of Talbot-Lau interferometer. A compact practical X-ray tube with source grating acts as a coherent X-ray source with enough power.

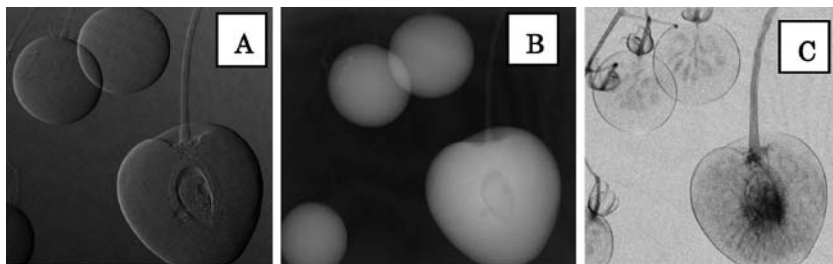


Fig. 2 The differential interferential contrast (DIC), absorption, and small angle scatter (dark-field) images of cherries, on A, B and C, respectively

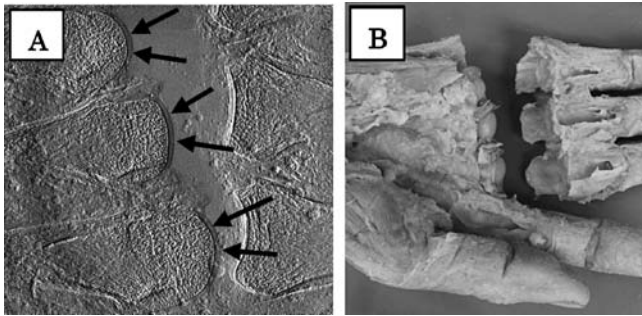


Fig. 3 The DIC image (A) of metacarpophalangeal (MP) joint of the cadaver's right hand (B). The articular cartilages covering the distal ends of metacarpal bones were clearly optimized.

像は所見の解釈が難しく、解剖を進めるに従って明瞭な画像が得られ、軟骨組織を同定することができた。現時点での撮像時間（約1時間）、撮像範囲（約100 cm²）、領域ごとの至適条件は今後解決すべき課題であるが、本システムは人体に対する画像診断ツールとして大きな可能性がある。

なお本研究は、埼玉医科大学倫理委員会の承認を得ている（課題名「X線格子干渉計（タルボ・ロー干渉計）を用いた人体撮影の基礎実験」）。また本研究は科学技術振興機構（JST）先端計測分析技術・機器開発事業に採択され助成を受けている（課題名「高アスペクト比X線格子を用いた位相型高感度X線医用診断機器の開発」 チームリーダー：百生 敦）。

Optimization of the joint and cartilage: diagnostic potential of the differential interferential contrast X-ray imaging

Masabumi NAGASHIMA¹, Tsukasa ITOU³, Chiho MAKIFUCHI³, Junko KIYOHARA³,

Kazuhiro KIDO³, Sumiya NAGATSUKA³, Atsushi MOMOSE⁴, Junji TANAKA²

Departments of ¹Anatomy and ²Radiology, Faculty of Medicine, Saitama Medical University,

³R&D Center, Konica Minolta Medical & Graphic, Inc.,

⁴Department of Advanced Materials Science, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

The conventional X-ray absorption contrast imaging cannot depict soft tissues such as cartilage. For visualization of soft tissue, X-ray phase contrast imaging is more sensitive than absorption imaging. The basic concept of X-ray phase contrast imaging is similar to Nomarski microscopy. We applied the Talbot-Lau X-ray interferometry with wave-optic simulation for optimization of the joint cartilage in the right hand and knee of a donated cadaver. The cartilages of both joints were clearly demonstrated. Within the knee joint, the medial meniscus and collateral ligament were also visualized successfully. Clinical significance of the present study was focused on the diagnosis and therapeutic estimation of rheumatic arthritis. This study was approved by the ethical committee of Saitama Medical University and supported by SENTAN, JST.

Key words: X-ray phase contrast imaging, differential interferential contrast (DIC), Talbot-Lau interferometry, metacarpophalangeal (MP) joint, knee joint

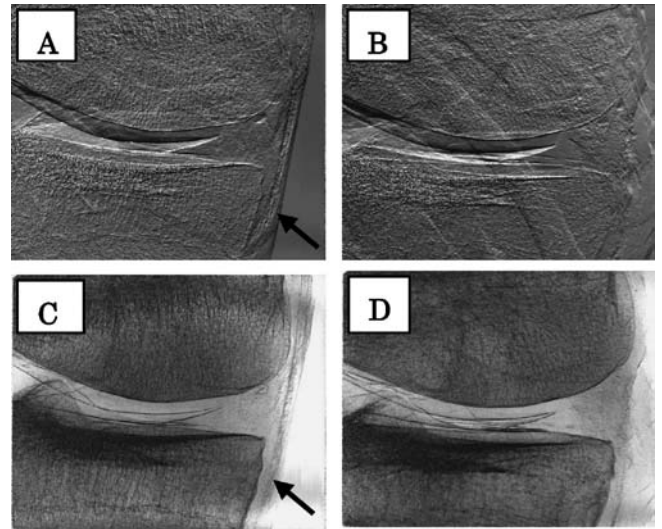


Fig. 4 The DIC (A, B) and small angle scatter (C, D) images of the cadaver's knee joint. The cartilage covering the femur and articular meniscus are clearly optimized. Arrows indicate the medial collateral ligament (A, C). B and D are images after removal of the ligament.

文献

- 1) 木戸一博, 巻瀧千穂, 清原淳子ほか. 2009. 実用X線管を用いたX線格子干渉計の試み—タルボ・ロー干渉計の医用画像への適用. 日本写真学会誌 72: 393-398
- 2) David C, Rutishauser S, Thüring T et al. 2010. X-ray grating interferometry for phase-contrast and optic metrology applications. International Conference on Advanced Phase Measurement Methods in Optics and Imaging, Rastogi PK and Hack E (eds), American Institute of Physics, New York