

分野：医学応用

演題名：放射光血管造影による血流機能評価

松下昌之助¹⁾、兵藤一行²⁾、塚田 亨³⁾、徳永千穂⁴⁾、坂本裕昭³⁾、平松祐司³⁾

1) 筑波技術大学、2) 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、3) 筑波大学医学医療系心臓血管外科、4) 埼玉医科大学国際医療センター心臓血管外科

はじめに

放射光由来の X 線を生体の画像診断に用いると高い光子エネルギーにより空間分解能の高い画像が得られる。これにより血管造影では 50 μm までの血管を描出することができる。一方、濃度分解能と時間分解能を高めると血流の移動が濃度変化として表現され、臓器における血流の機能の一端を知ることができる。

目的

TV 放送用に開発された高感受像体 (HARP 受像管：NHK 放送技術研究所) を用いて濃度－時間関係を示す方法を提示し、その意義を考察する。

方法

線源：高エネルギー加速器研究機構放射光施設 (PF-AR、NE-7A、電子エネルギー 6.5 GeV)。

方法：放射光を、シリコン結晶を用いて単色 X 線にし、蛍光体により可視光に変換し、HARP 受像管で受像、増感する (Se アバランシェ現象：増感度は CCD の 100 倍)。

解析ソフトウェア：濃度変位計測ソフトウェア「Gray-val」(ライブラリ)

動物：ラットの血管に 30%ヨード造影剤を 2 ml/回自動注入する。

評価法：ソフトウェアにより濃度－時間関係を 2 次元表示する。濃度は B/H を 256 階調で表示する (黒が 256)。受光時間は 30 msec、画像取得は 30 枚/秒。図の X 軸は image 番号 (1 秒間に 30 枚)、Y 軸は B/H の 256 階調レベルを示す。

結果

肺動脈造影では、右心房 (A)、肺動脈 (B)、肺静脈 (C)、肺末梢・肺野 (D) に 20 pixel 四方の ROI を設定 (図 1) すると、図 2 の濃度－時間曲線が得られた。また、腎動脈造影では、腎動脈近位部 (A)、腎動脈遠位部 (B)、腎皮質 (C) に 10 pixel 四方の ROI を設定 (図 3) すると、図 4 の濃度－時間曲線が得られた。

考察

元来高い空間分解能を有する放射光画像に、濃度分解能と時間分解能を加えると、時間に対

応した造影剤の変化を検出することができる。肺では、造影剤流入期の傾きは、心拍数を調整すると、血流速度と末梢血管抵抗に関連する指標となる。また、造影剤減衰期の傾きは、造影剤のクリアランスであり、心拍出量を推定する指標となる。放射光血管造影の優位性は、通常線源を用いた血管造影や造影 CT、MRI では検出できない微小血管（細動脈）を検出できることにある。図3の腎動脈遠位部（B）の血管径は $80\mu\text{m}$ であり、微小循環の機能評価が出来ることが他のモダリティと異なる点である。

結論

1. 放射光血管造影で高感度受像体を用いると、臓器血流の機能情報を得ることができる。
2. 放射光の高空間分解能により、微小血管でも同様に血管の機能情報を得ることが期待される。

図

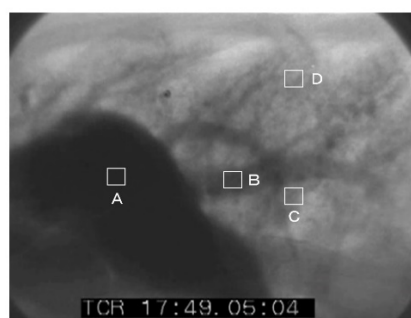


図1 肺動脈造影

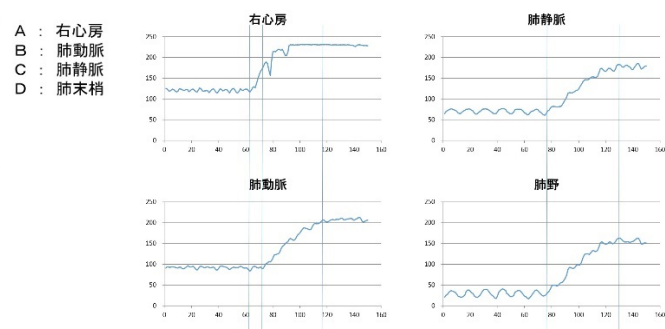


図2 肺各部の濃度変化

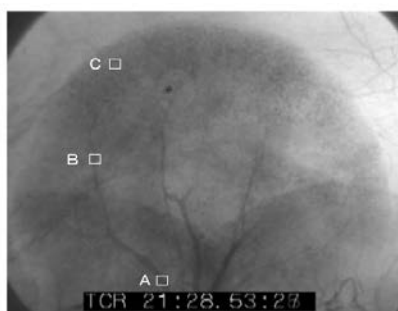


図3 腎動脈造影

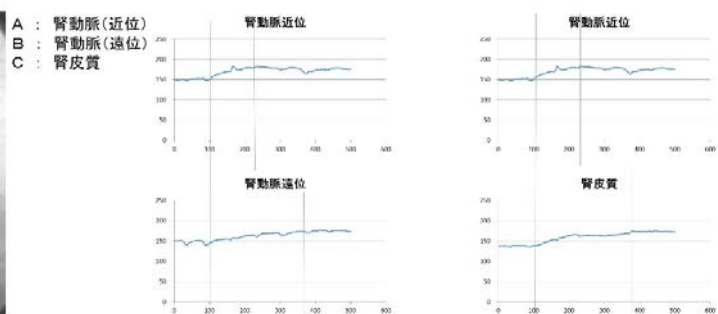


図4 腎動脈と腎皮質の濃度変化

位相差 X 線 CT および MRI を用いたヒト発生過程における 大腿筋の定量解析

Quantitative analysis of thigh muscles during human development process using Phase-contrast X-ray CT and MRI

山口豊¹、村瀬亜美²、山田重人^{1,2}

1. 京都大学大学院医学研究科附属先天異常標本解析センター
2. 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻

胎児期の筋骨格系の正常発達には、胎児の運動により発生する機械的な力の刺激により影響を受けることが知られている。近年、3次元・4次元超音波診断の発展により、胎児の運動の解析や定量化が進んでいる。一方、胎児の運動に伴う下肢筋の筋構成の獲得や発達様式の解析はあまり進んでいない。そこで、本研究ではヒト胚子・胎児の股関節周囲における筋骨格系の経時的な変化の三次元可視化および定量化を行い、股関節周囲筋の形成・発達を理解することを目的とした。対象は本研究では京都大学医学部附属先天異常標本解析センターが所蔵するヒト胚子・胎児ホルマリン固定標本の中から、GA7週から24週の範囲で計43標本を選んだ。ヒト胚子・胎児は成長に伴い著しく大きさが変化するので、各標本で内部構造の精細な観察ができるように、標本の大きさに合わせて位相差 X 線 CT、3T MRI および 7T MRI の3つの撮像装置を用いた。中でも、位相差 X 線 CT は X 線が物質を透過する際に生じる位相シフトを利用した撮像方法であり、MRI よりも高い空間分解能での撮像が可能である。また、一般的に使用される吸収 X 線 CT とは異なり軟骨

や筋組織などの軟部組織の測定も可能であり、発生初期の筋骨格系の三次元可視化が期待できる。これらから取得された画像をもとに三次元再構成を行い、抽出可能であった骨格筋の筋体積と下肢長を算出した。その結果、胚発生後期から胎児期中期における大腿筋全体の体積の増加は、大腿骨の伸長と高い相関があるが、前区画、後区画、内側区画の3つの筋群の体積比を見ると、成人の体積比に比べて前区画筋は高く、一方、内側区画筋は低いことがわかった。また、同一区画内の個々の筋で比較すると、胎児期において二関節筋である薄筋や縫工筋の比率が減少することがわかった。これは、直立二足歩行をするヒトの特徴的な体積比の獲得が胎児期の段階で進んでいる可能性が示唆される。以上より、本研究では胚子期から胎児期にかけてのヒト股関節周囲筋の発達段階を視覚的・定量的に明らかにすることができた。これは、ヒトの正常な筋骨格系発達の理解に貢献すると考える。

微小血管系診断システムに関する物理的特性評価 Evaluation of x-ray micro-angiography system

兵藤一行^{1,2}、亀沢知夏¹、松下昌之助³

1 KEK 物構研放射光、2 総研大、3 筑波技術大

我々は、がん、糖尿病、血管系疾患などに関する知見の獲得、血管系の機序解明、臓器の機能評価などを目的として、実験ハッチ内に設置した非対称反射X線光学素子(シリコン結晶)によって放射光単色X線の一軸方向を幾何学的に拡大して二次元照射面を形成し、二次元X線検出器(CCD、CMOS、HARP)を利用して二次元動画像を得ることができる微小血管系診断システムの開発および医学的観点からの小動物を用いた各種評価実験をX線エネルギー 33.3 keV の単色X線を利用して BL-14C、NE7A で実施してきた。

図1には、微小血管系診断システムの概念図を示す。現在、小動物の直径 100 μm 程度以下の血管系を縦横 30mm 程度の照射面積で最大 30 images/sec の時間分解能で描出することが可能である。血管系診断では、形態学的評価とともに血管形状や血流などの時間的变化を評価することも重要であり、目的とする情報を得るために、放射光単色X線の物理的特性を含むイメージングシステム全体の特性評価とそれらを考慮したデジタル画像処理法の導入は重要な検討項目である。

放射光吸収コントラストイメージング法で得られる微小血管系画像に関して目的とする情報を描出するためのイメージングシステムに関する特性評価、画像処理に関する検討を昨年に続いて実施したので、その結果を報告する。

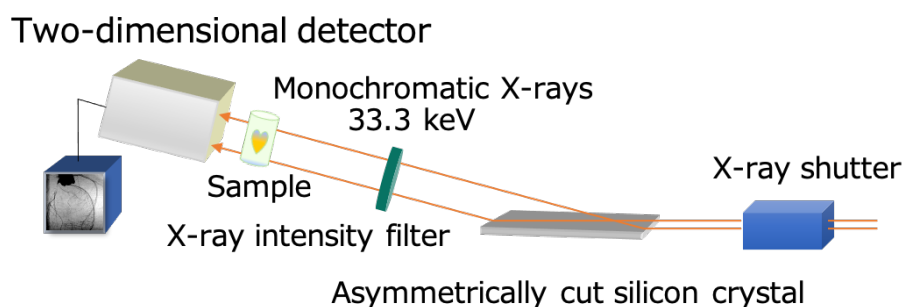


図1. 微小血管系診断システムの概念図.

X線暗視野法に基づく屈折コントラストCTを用いた 非浸潤性乳管癌における篩状構造の3次元イメージング Three-dimensional imaging of ductal carcinoma in situ with cribriform pattern using the refraction- contrast CT based on X-ray dark-field imaging

谷口華奈¹、砂口尚輝¹、市原周²、西村理恵子²、岩越朱里²、村上善子²
島雄大介³、湯浅哲也⁴、安藤正海⁵

1 名古屋大学大学院、2 名古屋医療センター、3 北海道科学大学
4 山形大学、5 KEK

乳癌の病理診断は、2次元である組織切片の顕微鏡観察により行われる。腺腔(病変内の微小な穴)を含む組織構造の特徴は重要な指標の一つであり、組織標本内の連続する病理切片から腺腔の3次元構造を観察する研究が報告されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、多数の病理像作成に多大な労力を要するため、これらの報告は少ない症例数で議論されている。本研究では、腺腔の詳細な3次元構造を得るために、X線暗視野法に基づく屈折コントラストX線CTを用いて、乳癌の一種である非浸潤性乳管癌(DCIS)と良性病変である通常型乳管過形成(UDH)を含む2つの乳腺組織標本を撮像した。

再構成像から腺腔領域を抽出し3次元解析を行った結果、DCISではバブル状、UDHでは管状に近い腺腔構造が多数確認された(図1)。また、腺腔密度や腺腔構造の経路長といった差異を数値で表す新しいパラメータを導入し測定した結果、DCISはUDHと比較して小さく短い腺腔が単位体積あたり多数存在していることが分かった。

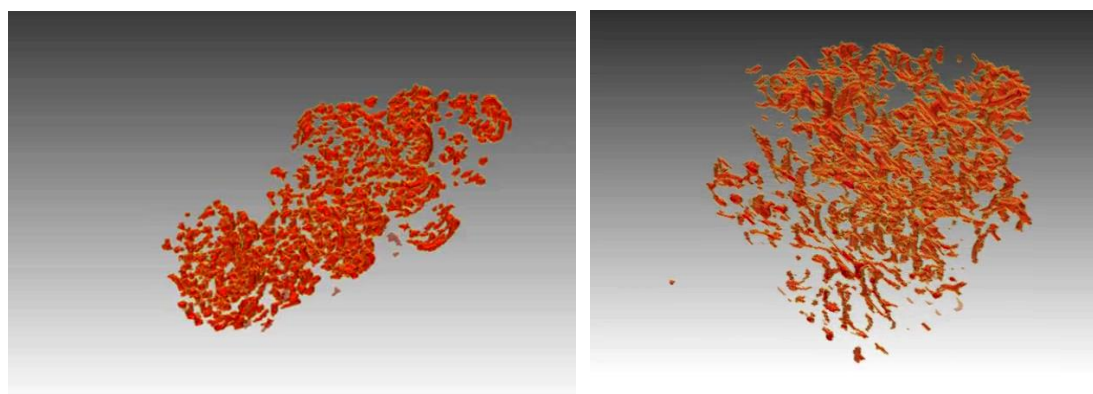


図1.腺腔構造の3次元像(左:DCIS 右:UDH)

- (1) Ohuchi N et al. "Three-dimensional atypical structure in intraductal carcinoma differentiating from papilloma and papillomatosis of the breast." Breast Cancer Research and Treatment, 5, 57-65, (1985).
- (2) Norton KA et al. "Automated Reconstruction Algorithm for Identification of 3D Architectures of Cribriform Ductal Carcinoma In Situ." PLoS ONE, 7, e44011, (2012).