氏　　名	神山　翔
学 位 の 種 類	博士（医学）
学 位 記 番 号	博甲第　９５６０　号
学位授与年月	令和２年３月２５日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当
審 査 研 究 科	人間総合科学研究科
学 位 論 文 題 目	三次元 MRI・CT 合成画像　- 上腕骨小頭離断性骨軟骨炎に対する新しい病変部評価方法の確立と、その有用性の評価 -
主　　査	筑波大学教授　医学博士　松村　明
副　　査	筑波大学准教授　博士（医学）　工藤　崇
副　　査	筑波大学講師　博士（医学）　岡本　嘉一
副　　査	筑波大学講師　博士（医学）　金森　章浩

論文の内容の要旨

神山　翔氏の博士学位論文は、上腕小頭離断性骨軟骨炎における 3 次元 MRI・CT 合成画像を用いて新しい病変部評価手法を確立するための検討をしたものである。その要旨は以下のとおりである。

論　文　概　要

目　　的：

上腕骨小頭離断性骨軟骨炎(以下 OCD)は、成長期野球選手に好発する関節内骨軟骨病変である。病変部の状態により治療方法が異なるが、現状では手術以外に病変部を正確に評価する方法がない。本研究の目的は OCD 病変部の軟骨下骨と関節軟骨を同時かつ三次元的に評価することにより、従来よりも高い精度でその重症度を判定できるような手法を確立することである。その手法として著者は OCD に対し MRI と CT を三次元的に合成した画像（以下 3D MRI-CT 合成画像)の作成方法を確立して、病変部評価における 3D MRI-CT 合成画像の有用性を検証することとした。

対象と方法：

研究 1 では、著者は 3 次元 MRI 合成画像の精度を評価するため、独自の MRI 分類（以下本 MRI 分類）による OCD の病変部重症度を検証した。MRI 撮像と手術を行なった OCD 症例 81 例を対象とした。平均年齢は 13.9±1.9 歳であった。術前に撮像した MRI から本 MRI 分類を判定し、術中に判定した International Cartilage Repair Society 分類（以下 ICRS 分類）との一致率を調査した。また、本 MRI 分類の感度、特異度、陽性的中率、陰性的中率も検証した。

研究 2 では、著者は肘関節 MRI における牽引の有用性を検証した。対象は健常ボランティア 10 名で、平均年齢は 36.7±8.6 歳であった。通常の MRI 撮像後、肘関節に 7kg の牽引を加えて MRI を撮像した（以下牽引 MRI ）。撮像条件は 3D water selective cartilage scan、スライス厚 0.4 mm とした。腕橈関節、腕尺関節外側 1/3、腕尺関節内側 1/3 において、関節裂隙距離の計測と上腕骨関節軟骨輪郭の可視性の判定を行い、通常の MRI と牽引 MRI で比較した。牽引 MRI 時の疼痛と不快感を visual analogue scale（以

下 VAS；痛みなし 0 点、最高の痛み 10 点）で評価した。

研究 3 では、研究 2 の知見を基に 3D MRI-CT 合成画像作成手法を構築するとともに、OCD の病変部評価における 3D MRI-CT 合成画像の有用性を検証した。対象は 3D MRI-CT 合成画像で病変部を評価し、手術を実施した OCD 症例 12 例である。平均年齢は 13.7±1.1 歳であった。MRI は 3-Tesla の装置を用い、3D-double echo steady state sequence、スライス厚 0.4 mm で撮像し、上腕骨と関節軟骨の 3D-MRI モデルを作成した。撮像の際上肢を 7kg で牽引した。CT は 320 列の装置を用い、スライス厚 0.5 mm で撮影し、上腕骨 3D-CT モデルを作成した。これら 3D モデルから 3D MRI-CT 合成画像を作成し、病変部の状態を評価し、検者 2 名が ICRS 分類を予想した。評価項目は、病変部の状態（関節軟骨の亀裂と欠損、関節面の変形、分離した軟骨下骨、それぞれの有無と局在）、病変部の縦径と横径、ICRS 分類とし、3D MRI-CT 合成画像から判定した結果と術中に判定した結果を比較した。また、予想した ICRS 分類の検者間信頼度を interclass correlation coefficient (ICC)で評価した。

結　　果：

研究 1 では、本 MRI 分類と術中 ICRS 分類の一致率は 88.9 %であった。本 MRI 分類の感度は 98.4 %、特異度は 84.2 %、陽性的中率は 95.3 %、陰性的中立は 94.1 %であった。

研究 2 では、牽引により腕橈関節の関節裂隙距離は有意に開大し、同関節の上腕骨関節軟骨輪郭の可視性も有意に改善した。疼痛の VAS 値は平均 1.7±1.2、不快感の VAS 値は平均 2.0±0.9 であった。

研究 3 では、3D MRI-CT 合成画像は、病変の状態を正確に反映していた。予想 ICRS 分類は術中に判定した ICRS 分類と全例一致した（class II 1 例、III 5 例、IV 6 例）。予想 ICRS 分類の検者間信頼度は ICC 1.0 であった。

考　　察：

著者は MRI 撮像条件の工夫と牽引 MRI の応用により、3D MRI-CT 合成画像作成手法の確立することに成功した。3D MRI-CT 合成画像は、CT による軟骨下骨の評価と MRI による関節軟骨の評価を、同時かつ三次元的に可能とした世界初の技術である。本技術は低侵襲であり、病変部の軟骨下骨と関節軟骨の位置関係が正確に把握でき、病変部を多角的に評価できる。今後の課題としては、さらに技術の簡便化と適応の拡大を目指して研究を継続していく必要があるとしている。

結　　論：

著者は上腕骨小頭離断性骨軟骨炎に対し 3D MRI-CT 合成画像を作成し、その有用性を評価した。3D MRI-CT 合成画像を用いた OCD の病変部重症度の評価精度は、研究 1（MRI のみ）で検証した精度を上回り、その有用性をあきらかにすることができた。3D MRI-CT 合成画像は OCD において、病変部の軟骨下骨と関節軟骨の立体的な構造と位置関係を正確に描出しうる画期的な技術であり、病変部の重症度評価に有用であると結論付けている。

審査の結果の要旨

（批評）

著者は上腕骨小頭離断性骨軟骨炎に対し、骨の情報をもたらす CT と軟部組織の情報をもたらす MRI を組み合わせ、双方の画像の利点を生かせるような 3 次元の合成画像の確立について細かく検討を行った。これらの結果から CT・MRI 画像を組み合わせた新しい診断手法である 3D MRI-CT 合成画像システムの開発に成功し、それを用いた OCD の病変部重症度の評価法も確立することができた。

令和 2 年 1 月 15 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもと論文について説明を求め、関連事項について質疑応答を行い、最終試験を行った。その結果、審査委員全員が合格と判定した。

よって、著者は博士（医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認める。