

ハイブリッド手術室における 脊椎固定術の経験

A Clinical Experience of the Spinal Fusion Surgery with Hybrid Operating Room

高尾 由範¹⁾, 佐々木 将平¹⁾, 奈良澤 昌伸¹⁾, 出田 真一朗¹⁾, 矢管 葵¹⁾, 市田 隆雄¹⁾

1) 大阪市立大学医学部附属病院 中央放射線部 診療放射線技師

Key words: Spine surgery, Spinal fusion surgery, Image guide surgery, Hybrid operating room, C-arm CT

【Summary】

Purpose: A hybrid operating room (Hybrid OR) is increasing building for the purpose of minimally invasive cardiac and aortic surgeries in Japan; However, it is not used effectively in other surgeries.

We report cases of Hybrid OR utilization in spinal fusion surgery.

Clinical experience: Our Hybrid system is combined with the Angio system “Allura Clarity (Philips)” and operating table “Magnus (Maquet)”. We experienced 39 cases spinal surgeries at the Hybrid OR from April 2014 to March 2016. The details of the spinal surgeries are 33 cases spinal fusion surgeries (include a preoperative transcatheter embolization case) and 6 cases without spinal fusion surgery (such as arteriovenous fistula) 6 cases.

We retrospectively evaluated the experiences related to the radiological technology which of 32 cases spinal fusion surgeries, exclude a preoperative arterial embolization case. The fluoroscopy time was 2.8 ± 2.5 min, single shot was 5.3 ± 3.5 , kerma area product was 27.6 ± 37.2 Gy cm^2 , number of shot on C-arm CT was 2.3 ± 1.5 times.

Using the Hybrid OR system has some advantages. The angiography system has the flat panel detector that has large imaging field and no distortion. The C-arm CT is a useful application which has been speedily get a clear volume image. In the clinical case that was possible to visualize the detail of pedicle screw and bone structures.

Conclusion: The Hybrid OR is also useful system for the various spinal fusion surgeries.

【要旨】

ハイブリッド手術室活用の一例として脊椎固定術の経験を報告する。

当院のハイブリッドシステムは、血管撮影装置「Allura Clarity FD20」と手術用寝台「Magnus」の組み合わせである。2014年4月から2016年3月までの期間に39例の脊椎手術を経験した。その内訳は、脊椎固定術が33例（術前塞栓を要した1例を含む）、脊椎固定を伴わない脊髄動静脈瘤などの手術が6例である。術前塞栓を要した1例を除く32例の脊椎固定術における透視時間は 2.8 ± 2.5 分、撮影回数は 5.3 ± 3.5 回、面積線量値は 27.6 ± 37.2 Gy cm^2 、C-arm CT撮影回数は 2.3 ± 1.5 回であった。手術では、大型FPDによる鮮明な画像とC-arm CTにより得られるボリュームデータを用いた支援が有用であった。

緒言

手術の低侵襲化と安全性の向上、手術精度の向上などを目的に、手術室に高性能の画像診断機器を設置するハイブリッド手術室の造設が進んでいる。ハイブリッド手術室に設置される画像診断機器は手術の目的に合わせて選択され、Computed Tomography（以下、CT）やMagnetic Resonance Imaging（以下、MRI）、血管撮影装置などが選択される¹⁾。近年、造設が進むハイブリッド手術室の主流は血管撮影装置を備えたもので、低侵襲な心臓あるいは大血管手術を目的としている。手術の低侵襲化や高度化が進んだことで、

ハイブリッド手術室が活用される機会も増えつつある今日ではあるが、心臓・大血管の手術に限った場合には、ハイブリッド手術室の稼働を維持することは容易ではない²⁾。

ハイブリッド手術室は、手術室と血管撮影室の特徴を有するため、さまざまな手術への活用の可能性を有している³⁻⁶⁾。しかしながら、一方の機能に特化して使用した場合には、手術室あるいは血管撮影室としての機能が失われてしまい、高額かつ高機能な設備を使用しない手術の増加による費用対効果の低下が生じる⁷⁾。

当院では、ハイブリッド手術室の活用を目的に、心臓・大血管領域に限定しない運用を造設当初より実施しており、心臓・大血管以外の手術にも使用してきた。

本稿では、ハイブリッド手術室活用の一例として、脊椎固定術の経験を診療放射線技師業務実施の観点から報告する。

Yoshinori Takao¹⁾, Shohei Sasaki¹⁾,
Masanobu Narasawa¹⁾, Shinichiro Izuta¹⁾,
Aoi Yasuge¹⁾, Takao Ichida¹⁾

1) Osaka City University Hospital, Department of Radiology: Radiological Technologist

1. 脊椎手術の経験

1-1. ハイブリッド手術室の仕様

当院のハイブリッド手術室は、既設の手術室に血管撮影装置を導入する形で造設された。血管撮影装置はAllura Clarity X-per FD20 (PHILIPS社)、手術用寝台はMAGNUS (Maquet社)である。Allura Clarity X-per FD20はFlex-moveと呼ばれるCアームの可動範囲が広い天井懸架機構を有している。本仕様では、自由度の高いレイアウトが実現できる。

1-2. 手術件数

ハイブリッド手術室で、2014年4月から2016年3月までの期間に施行された脊椎・脊髄に関連する手術は39例である。これらは脳神経外科および整形外科により実施された。その中で、脊椎固定術は33例（術前に血管塞栓術を実施した1例を含む）、脊椎動静脈奇形や脊椎動静脈瘻などの脊椎固定術を伴わない手術は6例であった。部位別では、脊椎固定術頸椎に対する手術:11例、胸腰椎移行部に対する手術:3例、腰椎に対する手術:12例、特発性側弯症に対する手術:5例、脊椎腫瘍手術に関連する手術:2例であった (Table 1)。

1-3. 手術室のレイアウト (Fig.1)

防護板は、麻酔科医と外回り看護師の周辺に配置している。手術台の周辺は清潔区域と位置付け、Cアーム移動時には細心の注意を払った。脊椎手術の術者の配置は一般的な血管造影や心大血管の診断・治療とは異なり、術者が患者の左右に位置する。そのため術者の透視および撮影画像の観察環境として複数のモニターの配置が必要であった。診療放射線技師は、Cアームや寝台の配置を容易に確認できる位置で装置の操作を行った。また室内には移動型の放射線防護板を配置し、防護エリアと位置付けた。透視や撮影、C-arm CT撮影時の従事者被ばくを低減する目的で、術者あるいは清潔看護師が利用した。

1-4. 手技支援

脊椎固定術は全身麻酔下を実施される。仰臥位で麻酔を導入した後、手術の体位に合わせて準備を行う。最も実施頻度の高い後方固定術は腹臥位で実施されるが、4点支持台を使用するため、寝台を含めた被写体の厚さが厚くなる (Fig.2)。ドレーピング前にCアームが安全に回転できることを確認することで、円滑に手技を支援できる環境を構築した。

Table 1 Detail of the spine surgery*

Cervical spine	11
Include thoracolumbar junction	3
Lumbar spine	12
Scoliosis	5
Related to the tumorectomy	2
Total	33

*include a preoperative transcatheter embolization case

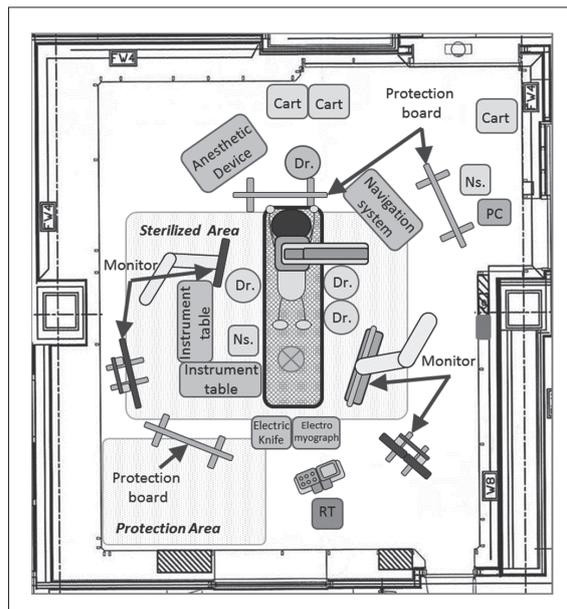


Fig.1 Layout of spine surgery

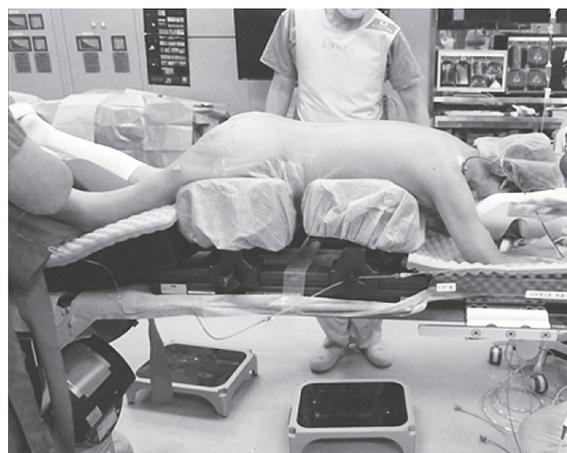


Fig.2 Preoperative photograph (Lumbar spine)

手術手技は、透視とナビゲーションシステムを併用し施行される⁸⁾。さらに詳細な骨構造の評価が必要な場合にC-arm CTを施行するが、施行時には術野が不潔にならないよう配慮しポジショニングすることが求められる (Fig.3a, b)。

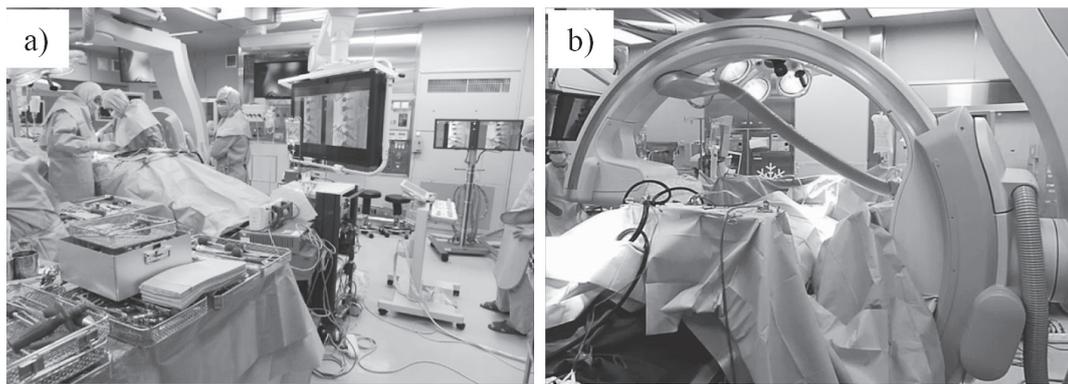


Fig.3 Intraoperative photograph

- a) Scene of the spine fusion surgery
b) Scene of performing the C-arm CT

Table 2 Scan condition of C-arm CT

Scan			
Voltage*	117-123 kV	Rotation angle	180 degree
Current*	50-325 mA	Scan time	10 sec
Pulse width*	5-10 msec	Images	320
Inch size	19 inch	Filter	0.9 mmCu 1.0 mmAl
Reconstruction			
Filter	Stent	Matrix	512 ³

*Automatically change according to match the patient

透視は7.5fps, 撮影はシングルショット, C-arm CTは体幹部撮影用の撮影プログラム (Table 2) を用いて手技を支援した。

2. 方法

本検討は, 当院倫理委員会の承認を得て実施した (承認番号: 3443)。

基礎的な手技の評価として, ファントムを用いて透視線量率, 撮影線量およびC-arm CTの撮影線量を測定した。さらに放射線撮影技術に関連する手技の評価として, 脊椎固定術における放射線量を後方視的に調査した。

2-1. 使用機器

透視線量率および撮影線量の測定には, 電離箱線量計: Radcal 9501, 6cc指頭型 (Radcal社), アクリル板 (京都科学社) 20cmを用いた。C-arm CTの撮影線量は, JIS-4915に準拠するファントム (京都科学社) を用いた。今回は, 体幹部を想定した線量測定で

あるため, 内腔は全て水で満たした。

2-2. 線量測定

透視線量率および撮影線量の測定は, 脊椎固定術で使用する 19, 17, 14.4 inchの flat panel detector (以下, FPD) サイズで行った。測定はガイドラインに準じ, 電離箱線量計を患者照射基準点 (旧IVR基準点) に配置し実施した⁹⁾。透視線量率の測定は, 2分間の透視を3回実施した。測定した値から1分間当たりの線量を算出した後に平均し, 当該FPDサイズの透視線量率とした。撮影線量は, シングルショットを3回実施し, 3回の平均値を当該FPDサイズの撮影線量とした。

C-arm CTの線量は, 装置に表示される面積線量積とした。19 inchのFPDサイズでファントムを3回撮影し, 平均値をC-arm CTの線量とした。

2-3. 手技の評価

対象は, ハイブリッド手術室で実施した脊椎固定術33例のうち, 術前に血管塞栓術を実施した1例を除く32例とし, 透視時間・撮影回数・面積線量積・C-arm CT撮影回数の項目について後方視的に評価した。

3. 結果

3-1. 線量測定

測定結果を示す (Table 3)。19, 17, 14.4 inchのFPDサイズにおける透視線量率はそれぞれ3.56, 4.39, 4.75mGy/minであり, 撮影線量は0.62, 0.81, 0.92mGyであった。C-arm CT撮影時の面積線量積は7.34Gy cm²であった。

3-2. 手技の評価

結果を示す (Table 4).

透視は主にスクリュー挿入時の確認を目的に使用された。透視時間 (平均±標準偏差) は 2.8 ± 2.5 minであった。スクリューの挿入時は、1秒程度の短い透視を繰り返し、先端位置を確認した。詳細なスクリューの位置調整では、連続的な透視でスクリューの位置を確認した。撮影は主に透視の画質では評価が難しい場合の術中評価や術後確認を目的に使用された。撮影回数 (平均±標準偏差) は 5.6 ± 3.5 回であった。C-arm CTはほぼ全ての症例でスクリューと骨の3次元的位置確認を目的に使用された。C-arm CTの撮影回数 (平均±標準偏差) は 2.3 ± 1.5 回であった。また面積線量積 (平均±標準偏差) は 27.6 ± 37.2 Gy cm^2 であった。

3-3. 臨床例

ハイブリッドORの使用が効果的と考えられた症例を提示する。

症例1：再固定術 (Fig.4)

固定部に緩みが生じたため再手術が実施された。横

断像では、通常より外側から挿入されたスクリューを確認できる。冠状断像では、新たに挿入されたスクリューの内側に抜去後の孔も確認できる (白矢)。安全を保ちつつ確実な固定を得るためにC-arm CTは有用であった。

症例2：椎弓根スクリューの脊髄腔への突出 (Fig.5)

脊髄腔に突出する椎弓根スクリューを認める (白矢)。C-arm CTを活用することで、迅速に手術手技を評価できる。迅速な合併症リスクの把握は安全な手術を行うための重要な要素と考える。

症例3：小児に対する脊椎固定術 (Fig.6)

小児 (6歳) に対する環軸椎固定手術。体格の小さ

Table 3 Result of the dose measurement

	FPD size (inch)	19	17	14.4
Fluoroscopy*	Voltage (kV)	76	78	79
	Current (mA)	2.4	2.6	2.9
	(mGy/min)	3.56	4.39	4.75
Single shot*	Voltage (kV)	80	80	80
	Current (mA)	8	11	13
	(mGy/time)	0.62	0.81	0.92
	FPD size (inch)	19		
C-arm CT**	Voltage (kV)	120		
	Current (mA)	218		
	KAP*** (Gy cm^2 /scan)	7.34		

*Measured at the patient entrance reference point

**Dose indicated by the angio system

***Kerma area product

Table 4 Result of the spine surgery

Contents	Mean ± SD* (n=32)
Fluoroscopy time (min)	2.8 ± 2.5
Single shot (times)	5.3 ± 3.5
KAP (Gy cm^2)	27.6 ± 37.2
C-arm CT (times)	2.3 ± 1.5

*SD: standard deviation

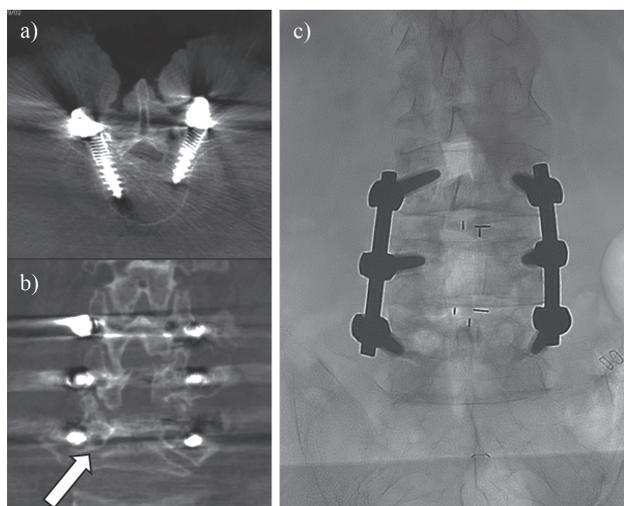


Fig.4 Case 1: Re-operation due to loosening of the pedicle screw

- a) C-arm CT image (Axial)
- b) C-arm CT image (Coronal)
- c) X-ray image (Post procedure)

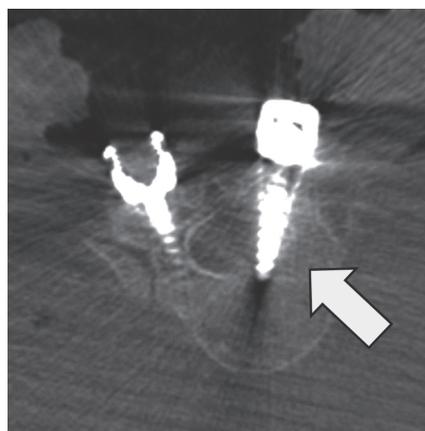


Fig.5 Case 2: Protrusion of the screw into the vertebral foramen (C-arm CT image)

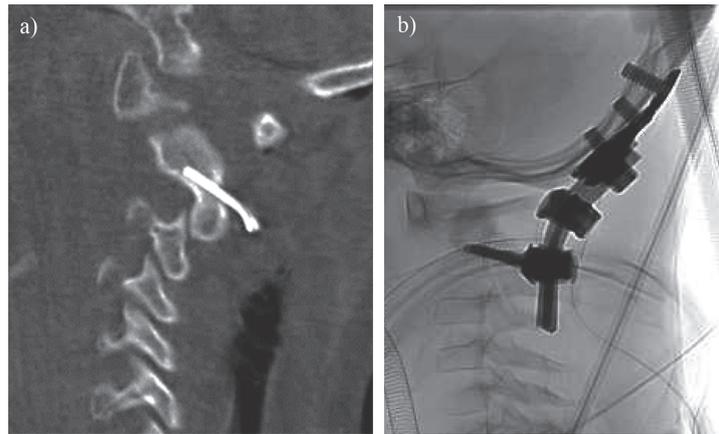


Fig.6 Case 3: Spine surgery for pediatrics

- a) C-arm CT image (Sagittal)
b) X-ray image (Post procedure)

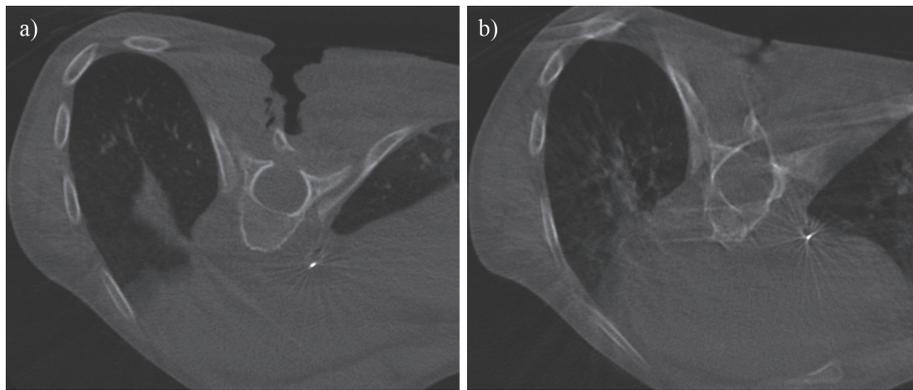


Fig.7 Breathing control

- a) With ventilation control
b) Without ventilation control

な小児に対しても安全に手技を施行できた。矢状断像では、椎弓に沿って挿入されたインプラントが確認できる。

4. 考 察

一般的な脊椎手術では、Image Intensifier (以下, I.I.) を備えた可搬型の透視装置が利用されることが多い。可搬型のI.I.装置では、I.I.サイズが小さいことに加えて、I.I.特有の問題である中心部と辺縁部の輝度差や周辺部における画像のひずみが生じる。血管撮影装置が備える大型のFPDでは、可搬型のI.I.装置が有するさまざまな問題は解決され、低被ばくでひずみの少ない鮮明な画像を時間分解能よく得ることができる¹⁰⁾。また手術室において迅速にC-arm CTを撮影できることは大きな利点と考える。空間分解能に優れる

ボリュームデータを手術に活用することにより脊椎固定術を適切に支援できる。さらに近年では、術中に取得したボリュームデータを使用してナビゲーションを行うことが可能となっている^{11, 12)}。術中に取得したボリュームデータの活用は、今後さらに進むと考える。

ハイブリッド手術における支援は、血管撮影室と同様と考える^{13, 14)}。脊椎固定術においては、放射線防護に対する取り組みに加え、麻酔科医との連携が肝要である。C-arm CTやdigital subtraction angiography (DSA) を施行する際には、呼吸停止下に撮影することで、診断能の高い画像を提供することができる (Fig.7)。

透視や撮影と、C-arm CT撮影の線量分布は大きく異なる。体の周りをX線管が回転するC-arm CTでは、回転軸に対して垂直方向に散乱線は広く分布し、体軸方向へはさほど広がらない¹⁵⁾。特に、足側方向は、

寝台あるいは寝台の軸により高度に散乱線が遮蔽される。放射線防護策の検討においては、透視や撮影だけでなく、C-arm CT撮影時の散乱線分布を念頭に置くことが望ましい。

5. 結 論

ハイブリッド手術室活用の一例として脊椎固定術の経験を報告した。術野の制限を伴うことが多い低侵襲な治療では、術中の画像診断が担う役割は極めて大きい。ハイブリッド手術室は脊椎固定術においても有用であり、骨関節領域を含むさまざまな手術を安全かつ確実に実施するために欠かせない設備の一つである。

6. 謝 辞

本稿執筆に当たり、ご指導、ご助言を賜りました大阪市立大学医学部附属病院 中央放射線部の諸兄に深く感謝致します。

なお、本稿の要旨は、第31回日本診療放射線技師学会大会ならびに19th ISRR World Congressで発表した。

図の説明

- Fig.1 脊椎手術のレイアウト
 Fig.2 術前の写真（腰椎手術）
 Fig.3 術中の写真
 a) 脊椎手術の様子
 b) C-arm CTを撮影する様子
 Fig.4 症例1 椎弓根スクリューの緩みによる再手術
 a) C-arm CT画像（横断像）
 b) C-arm CT画像（冠状断像）
 c) X線画像（術後）
 Fig.5 症例2 椎孔へのスクリューの突出(C-arm CT画像)
 Fig.6 症例3 小児に対する脊椎手術
 a) C-arm CT画像（矢状断像）
 b) X線画像（術後）
 Fig.7 呼吸コントロール
 a) 呼吸停止あり
 b) 呼吸停止なし

表の説明

- Table 1 手技の詳細
 Table 2 C-arm CTの撮影条件
 Table 3 線量測定の結果
 Table 4 脊椎手術の結果

参考文献

- 堀田哲夫：高機能手術室とは何かーその現状と問題点ー。手術医学, 37 (2), 81-85, 2016.
- 高松千洋：ハイブリッド手術室の構成と運用上の課題。手術医学, 37 (2), 90-94, 2016.
- 村山雄一, 石橋敏寛, 結城一郎, 他：ハイブリッド手術室システムの応用ー外科手術とIVRのコラボレーションー脳神経領域での臨床応用。IVR会誌, 31 (2), 111-113, 2016.
- 本郷哲央, 濱田智広, 高木育也, 他：ハイブリッド手術室システムの応用ー外科手術とIVRのコラボレーションー胸部大血管での臨床応用。IVR会誌, 31 (2), 114-120, 2016.
- 生駒 顕, 中井資貴, 南口博紀, 他：ハイブリッド手術室システムの応用ー外科手術とIVRのコラボレーションー腹部領域ハイブリッド手術システムの臨床応用。IVR会誌, 31 (2), 121-128, 2016.
- 山口雅人, 岡田卓也, 上嶋英介, 他：ハイブリッド手術室システムの応用ー外科手術とIVRのコラボレーションーハイブリッド手術室システムの臨床応用ー神戸大学病院における大血管以外多領域での臨床応用の取り組み。IVR会誌, 31 (2), 129-135, 2016.
- 江島 豊, 金谷明浩, 志賀卓弥：ハイブリッド手術室・高機能手術室の展望。手術医学, 37 (2), 86-89, 2016.
- 安田宗義, 高安正和：脊髄・脊椎手術における術中ナビゲーションの利用。脳外誌, 21 (2), 96-102, 2012.
- IVR等に伴う放射線皮膚障害とその防護対策検討会：IVRに伴う放射線皮膚障害の防止に関するガイドライン。Radiology Frontier, 7 (4), 283-288, 2004.
- 奥迫謙治, 庄垣雅史, 横山貢治, 他：FPD搭載型血管造影装置の臨床経験。医学物理, 22 (4), 255-263, 2002.
- Wei Tian, Han Wang, Ya-jun Liu: Robot-assisted Anterior Odontoid Screw Fixation: A Case Report. Orthopedic Surgery, 8, 400-404, 2016.
- Jared M, Nikhil R, Ryan D, et al.: Robot-assisted Anterior Odontoid Screw Fixation: A Case Report. J Neurosurg Spine, 8 (12), 1-9, 2016.
- 市田隆雄, 工藤弘明, 水口和夫, 他。三位一体のIVRー最善のIVRのための私たちの思考ー。IVR会誌, 16 (4), 321-326, 2001.
- 市田隆雄, 高尾由範, 則政季代, 他：デジタル時代での放射線技師の役割分担ー血管像の画質, 被ばく低減の最適性を保証するためにー。肝疾患誌, 19 (2), 101-107, 2013.
- 則政季代, 垣見明彦, 高尾由範, 他：体幹部ファントムを用いたC-arm CT撮影時の散乱線分布の把握。日放技学誌, (72) 11, 1144-1151, 2016.