

# 鎮静下小児MRI検査における途中覚醒の危険因子分析

*Analysis of risk factors for mid-examination awakening in sedated pediatric MRI*

尾崎 大輔<sup>1)</sup>, 氏田 浩一<sup>1)</sup>, 須藤 高行<sup>1)</sup>, 対馬 義人<sup>2)</sup>

1) 群馬大学医学部附属病院 放射線部  
2) 群馬大学大学院医学系研究科 放射線診断核医学

**Key words:** MRI, Pediatric, Sedation, Mid-examination awakening

## 【Abstract】

We investigated the frequency and risk factors of mid-examination awakening in sedated pediatric MRI. 940 patients underwent sedated pediatric MRI, from January 1, 2015 to December 27, 2019. Patient data were collected for age, gender, sedative type, use of silent mode, examination time, time from sleep to start of examination, and mid-examination awakening. Logistic regression analysis was used for statistical analysis. Mid-examination awakening was observed in 93 patients (9.9%), and risk factors were age, no silent mode, examination time of 20 minutes or more, and time from sleep to the start of examination. There was no significant difference in gender or type of sedative. Our results suggest using the silent mode, shortening the time from sleep to the start of the examination, and shortening the examination time was effective in preventing mid-examination awakening.

## 【要旨】

鎮静下小児MRI検査における途中覚醒の発生頻度と危険因子について検討した。対象は2015年1月1日から2019年12月27日までに検査を実施した940例。年齢、性別、鎮静薬剤の種類、静音モードの有無、検査時間、入眠から検査開始までの時間および途中覚醒の有無を調査した。統計解析はロジスティック回帰分析を用いた。途中覚醒は93例（9.9%）に認められ、危険因子は年齢、静音モードなし、20分以上の検査時間、入眠から検査開始までの時間であった。性別、鎮静薬剤の種類による差はなかった。途中覚醒を防止するには可能な限り静音モードを使用し、入眠から検査開始までの時間の短縮、および撮像時間の短縮が有効と考えられる。

## 1. 緒 言

MRI検査では長時間の安静が必要であるが、これが困難な小児患者の場合は鎮静処置を行う必要がある。CT検査は医療被ばくの問題があり、小児MRI検査の需要が高まっている。そのため鎮静における安全性の担保がより重要となっており、2013年には日本小児科学会、日本小児麻酔学会、日本小児放射線学会から「MRI検査時の鎮静に関する共同提言」<sup>1)</sup>が、2020年には改訂版<sup>2)</sup>が発表され、鎮静の管理体制が見直されつつある。

近年、MR技術の進歩により静音技術を搭載した装置が登場している。当院でも鎮静下小児MRI検査において、可能な限り静音シーケンスを使用するようにしている。しかし、検査途中で覚醒する事例も少なく

ない。これは、画質の劣化や患者転落などの原因となり、また検査効率低下の原因ともなる。

本研究では、鎮静下小児MRIの途中覚醒の発生頻度と危険因子について検討し、検査の安全性の向上を図ることを目的とした。

## 2. 方 法

2015年1月1日から2019年12月27日までの間に、当院で961例の鎮静下小児MRI検査（18歳以下）を実施した。その中で、入眠できなかった症例（16例）、診療記録が不備で十分な情報が得られなかった症例（5例）を除外し、940例を調査対象とした。

検査時、全例に耳栓などの聴覚保護装置およびSpO<sub>2</sub>モニターを使用した。使用装置は、GEヘルスケア・ジャパン社製のSigna HDX 1.5T (Signa)、Siemens Healthcare社製のMAGNETOM Symphony 1.5T (Symphony)、MAGNETOM Prisma fit 3T (Prisma)、MAGNETOM Skyra 3T (Skyra)の合計4台のうちのいずれかである。

SignaとSymphonyには静音モードは搭載されておらず、通常シーケンスでの撮像である。2015年4月に静音モードが搭載されたSkyraが新規導入され

OZAKI Daisuke<sup>1)</sup>, UJITA Kouichi<sup>1)</sup>, SUTOU Takayuki<sup>1)</sup>, TSUSHIMA Yoshito<sup>2)</sup>

1) Department of Radiology, Gunma University Hospital

2) Department of Diagnostic Radiology and Nuclear Medicine, Gunma University Graduate School of Medicine

Received December 9, 2020; accepted May 19, 2021

た。またPrismaは、2016年2月に装置バージョンアップに伴い静音モードが搭載されたため、その後は静音モードを使用した。静音モード搭載の装置導入後は、基本的に鎮静下小児MRIは静音モード搭載装置で撮像することとしている。しかし、検査室の状況と睡眠に入るタイミングによっては、静音モード搭載の装置が使用できない場合があり、その際はその他の装置で検査を行った。

## 2-1 データ分析

途中覚醒に関係する因子として、患者年齢、性別、鎮静薬剤の種類、静音モードの有無、検査時間（20分未満/以上）、入眠から検査開始までの時間（分）について後方視的に調査した。途中覚醒は、体動などによる画質の劣化や検査続行が危険と判断され、検査が中断および中止になった状況とした。年齢および入眠から検査開始までの時間は連続データとした。

鎮静薬剤は、トリクロホスナトリウムシロップ（以下、トリクロ）、注射用チオペンタールナトリウム（以下、ラボナ静注）、ペントバルビタールカルシウム錠（以下、ラボナ錠）、抱水クロラル坐薬（以下、エスクレ坐薬）、その他（多剤併用を含む）の5つに分類した。また鎮静の必要性および鎮静薬剤の処方、依頼科の医師の判断により行われた。

検査時間について、当院における小児の脳MRI検査は通常20分程度である。今回、正確な検査時間をさかのぼって調査することは困難であった。そのため通常の脳MRI検査を検査時間20分未満、脳と脊髄などの2部位の撮像、腹部および骨盤などの脳以外の検査を検査時間20分以上と分類した。

また今回の静音シーケンスで設定されている静音化技術（Acoustic noise reduction）では、撮像時間の延長が起こらないように撮像シーケンスの調整を行った。撮像シーケンスは優先度の高いものから撮像し、拡散強調画像など騒音レベルの高いシーケンスは最後に撮像することとしている。

## 2-2 騒音測定

静音モードにおいて、騒音低減の程度を評価するため、代表的なシーケンスについて、通常シーケンスと静音シーケンスを使用した際の騒音測定を行った。

対象シーケンスはT<sub>1</sub>強調画像（T<sub>1</sub>WI）、T<sub>2</sub>強調画像（T<sub>2</sub>WI）、Fluid-attenuated inversion recovery image（FLAIR）、T<sub>2</sub>スター強調画像（T<sub>2</sub>\*WI）、拡散強調画像（DWI）である。静音モードでは装置搭載の

静音シーケンスを使用した。騒音測定器は、騒音計は普通騒音計（型番6236、アコー社製）、マイクロフォンは光マイクロセンサー（型番Optimic 1140、Optoacoustics社製）を使用した。騒音測定法はNEMA MS4<sup>3)</sup>に準拠し、宮地ら<sup>4)</sup>や北村ら<sup>5)</sup>の報告を参考とし、等価騒音レベル（L<sub>Aeq</sub>:dB）を測定した。周波数重み特性はA特性、動特性はFastで測定を行った。

頭部検査を想定し、測定位置は磁場中心とした。マイクロフォンの向きは患者の耳の位置を想定し、静磁場方向と直交する位置に配置した。測定配置をFig.1に示す。

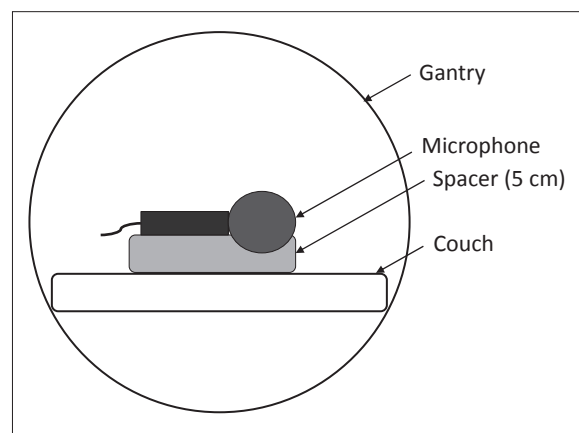


Fig.1 Set-up for acoustic noise measurement (magnetic isocenter)

## 2-3 統計解析

連続データは平均および標準偏差で表した。各調査項目に対してロジスティック回帰分析を行い、オッズ比（Odds ratio: OR）、95%信頼区間（95% confidence interval: CI）を算出し、途中覚醒の危険因子を評価した。有意水準5%未満を有意差ありとした。統計解析にはSPSS（version 25, IBM社）を使用した。

## 3. 結果

調査結果のまとめをTable 1に示す。年齢の平均値は $3.4 \pm 3.4$ （0–18.1歳）、男児が473人（50.3%）であった。鎮静薬剤は、ラボナ静注が433例（46.1%）と最も多く、トリクロが399例（42.4%）とこれに次いだ。

静音モードは660例（70.2%）に使用された。装置ごとの症例数の内訳はSigna, Symphony, Prisma, Skyraで、それぞれ98, 135, 159, 548人であった。

Table 1 Clinical characteristics of the patients

Characteristics	Sedated pediatric MRI (n=940)
Age (years)	3.4 ± 3.4 (range, 0–18.1)
Gender	
Male	473 (50.3%)
Female	467 (49.7%)
Sedative type	
triclofos sodium	399 (42.4%)
thiopental sodium	433 (46.1%)
pentobarbiturate	39 (4.1%)
chloral hydrate	23 (2.4%)
others	46 (4.9%)
Silent mode	
with	660 (70.2%)
without	280 (29.8%)
Examination time	
< 20 min	760 (80.9%)
≥ 20 min	180 (19.1%)
Time from sleep to examination start (min)	8.3 ± 9.4 (range, 5–150)
Midway awakening	
with	93 (9.9%)
without	847 (90.1%)

Table 2 Comparison of clinical factors

Factors		Mid-examination awakening ratio	p value	Odds ratio	95%CI
Age (years)			0.010	1.088	1.020–1.161
Time from sleep to examination start (min)			0.030	1.021	1.002–1.041
Silent mode	On	55/660 (8.3%)	0.017	1.762	1.106–2.807
	Off	38/280 (13.6%)			
Examination time	< 20 min	58/760 (7.6%)	0.000	2.948	1.802–4.822
	≥ 20 min	35/180 (19.4%)			
Gender	Male	43/473 (9.1%)	0.395		
	Female	50/417 (10.7%)			
Sedative type	triclofos sodium	37/399 (9.3%)	0.791		
	thiopental sodium	42/433 (9.7%)			
	pentobarbiturate	6/39 (15.4%)			
	chloral hydrate	4/23 (17.4%)			
	others	4/42 (8.7%)			

Table 3 Acoustic noise levels for principal pulse sequences

	L <sub>Aeq</sub> (dB)			
	Signa	Symphony	Prisma Normal/Silent	Skyra Normal/Silent
T <sub>1</sub> WI	96.5	88.3	78.2/75.9	88.8/87.6
T <sub>2</sub> WI	105.9	86.9	83.8/79.5	92.7/92.4
FLAIR	99.4	76.5	78.0/77.8	88.3/84.9
T <sub>2</sub> *WI	99.4	86.2	80.7/59.6	89.4/65.7
DWI	100.5	96.6	94.6/78.7	98.6/87.2

またPrismaは、期間内の装置バージョンアップに伴い静音モードが搭載されたため、159例中112例で静音モードが使用された。20分未満の検査時間は760例(80.9%)で、入眠から検査開始までの時間の平均値は $8.3 \pm 9.4$ 分(5–150分)であった。

途中覚醒になったのは93例(9.9%)であった。

統計解析の結果をTable 2に示す。途中覚醒の危険因子として、年齢(OR:1.088, 95%CI:1.020–1.161,  $p=0.010$ ), 入眠から検査開始までの時間(OR:1.021, 95%CI:1.002–1.041,  $p=0.030$ ), 静音モードなし(OR:1.762, 95%CI:1.106–2.807,  $p=0.017$ ), 20分以上の撮像時間(OR:2.948, 95%CI:1.802–4.822,  $p<0.001$ )で有意差が認められた(Table 2)。性別、鎮静薬剤の種類に有意差は認められなかった。

装置ごとの途中覚醒の割合は、Signaで18%(18/98例), Symphonyで8%(11/135例), Prisma静音モードなしで19%(9/47例), Prisma静音モードありで3%(3/112例), Skyraで9%(52/548例)であった。

騒音測定結果をTable 3に示す。Signaの $L_{Aeq}$ はいずれのシーケンスでも最も高い値となった。Prismaで静音モードありの場合、FLAIRを除いて最も低い値となった。PrismaとSkyraにおいて、静音モードを使用した場合の騒音低減率は、 $T_1WI$ ,  $T_2WI$ , FLAIR,  $T_2^*WI$ , DWIでそれぞれ、Prismaは22.3, 25.0, 2.28, 91.2, 84.0%, Skyraは12.9, 3.39, 32.4, 93.5, 73.1%であった。

## 4. 考察

小児MRI検査における鎮静について、「MRI検査を行う小児患者の鎮静管理に関する実態調査」<sup>6)</sup>が行われ、鎮静方法の違いや、鎮静に伴う合併症について明らかになった。その後、「MRI検査時の鎮静に関する共同提言」<sup>1,2)</sup>が発表され、より安全な鎮静を行うことが必要であるとされている。十分な鎮静を行ったとしても日常の検査においては、途中覚醒によって検査中止や画質の劣化が生じる場合も少なくない。

本研究では、年齢が高くなると途中覚醒のリスクが高くなった。年齢が高くなれば、鎮静を必要としない例が増加すると考えられるが、今回の調査では6歳以上が161例含まれていた。患者自身の特徴も大きく影響していると考えられる。

鎮静の持続時間は鎮静薬の種類・投与量および代謝などによって異なるが、数十分から数時間とさまざまである。特にラボナ静注は短時間型の鎮静薬であると

されている。検査時間の延長は鎮静効果低下の要因となってしまうため、事前に必要とするシーケンスをよく検討し、撮像時間の短縮に努めることは重要である。また腹部や骨盤などの検査は、脳の検査と比較して検査時間が長い場合が多い。さらに検査内容によっては静音モードが使用できない場合もあり、検査時間の延長による途中覚醒のリスクの中には騒音の影響もあると考えられた。

入眠から検査開始までの時間が延長すると、時間経過とともに鎮静効果が低下し、途中覚醒が起こりやすくなると予想される。今回の調査では、入眠後5分までに検査を開始できた症例が691例、15分までに検査を開始できた症例が175例と、約92%の検査が入眠後、当院検査枠の20分以内に検査を開始できていた。静注による鎮静薬投与であれば、検査直前にMRI検査室内で行うことが可能で、速やかに検査を開始できる。しかし、特に経口投与の場合は睡眠に至る時間にバラツキが大きく、予約状況によっては、入眠から検査開始までに時間を費やしてしまう場合がある。乳児用の個室の寝室の設置や検査時間帯を調整し、眠りやすい状況をつくるなどの工夫により、MRIの高い検査成功率が得られたとの報告<sup>7,8)</sup>もあり、検査室環境の整備と予約時間なども考慮する必要があると考えられた。

騒音に関して、等価騒音レベルはSignaで最も大きい結果であったが、装置ごとの途中覚醒率はPrismaの静音モードなしが最も高い結果であった。ヒトの可聴周波数域は20Hzから20kHzで、さらにヒトが不快に感じる音は可聴周波数域の中間領域で2kHzから4kHzといわれている。今回の検討で装置間の騒音の周波数特性については検討していないが、等価騒音レベルは同等であっても、周波数特性はシーケンスによって異なるため、周波数特性も途中覚醒に寄与している可能性があり、今後の検討課題である。

本調査では9.9%程度の症例で途中覚醒を生じたが、それでも検査を完遂できた症例や鎮静薬を追加投与し検査を完了した症例もある。従って実際の検査成功率はさらに高いものとなる。また「MRI検査時の鎮静に関する共同提言」<sup>2)</sup>では、新規項目として、薬に頼らない鎮静の状況が提示された。不要および過剰な鎮静を避け、より安全で効率的な検査を行うため、予約時間の調整および撮像シーケンスの工夫を行っていく必要があると考える。

## 5. 結論

鎮静下小児MRIの途中覚醒は9.9%で生じ、高年齢、静音モードの不利用、長い検査時間（20分以上）、入眠から検査開始までの時間の延長が途中覚醒の危険因子であった。シーケンスを工夫することでさらなる騒音低減および撮像時間の短縮が必要であると考えられた。また予約時間の調整や、眠りやすい環境整備も望まれる。

### 表の説明

Table 1	調査項目まとめ
Table 2	統計解析結果
Table 3	騒音測定結果

### 図の説明

Fig.1 騒音測定配置（磁場中心）

### 参考文献

- 1) 日本小児科学会・日本小児麻酔学会・日本小児放射線学会：MRI検査時の鎮静に関する共同提言。日児誌，117，1172-1201，2013.
- 2) 日本小児科学会・日本小児麻酔学会・日本小児放射線学会：MRI検査時の鎮静に関する共同提言。日児誌，124，771-805，2020.
- 3) National Electrical Manufacturers Association: Acoustic Noise Measurement Procedure for Diagnostic Magnetic Resonance Imaging Device. NEMA Standards Publication MS 4, 2010.
- 4) 宮地利明，他：MRI装置の騒音—EPIシーケンスを中心とした施設間およびパルスシーケンス間における検討—。日放技学誌，54(10)，1216-1225，1998.
- 5) 北村達也，他：光マイクロホンを用いたMRI撮像時の騒音測定。日音響誌，62(5)，379-382，2006.
- 6) 日本小児科学会小児医療委員会：MRI検査を行う小児患者の鎮静管理に関する実態調査。日児誌，117，1167-1171，2013.
- 7) Cynthia H, et al.: Sleep Deprivation for Pediatric Sedated Procedures : Not Worth the Effort. Pediatrics, 113(5), 1204-1208, 2004.
- 8) Douglas C, et al.: Pediatric neuroimaging using magnetic resonance imaging during non-sedated sleep. Pediatr Radiol, 44, 64-72, 2014.