

特発性正常圧水頭症における Normalized- Δ ADC 解析 [国際飛躍賞記録]

大野直樹¹, 宮地利明¹, 間瀬光人², Noam Alperin³,
原 眞咲⁴, 芝本雄太⁴, 笠井治昌⁴, 野田知寛¹,
蒲田敏文⁵, 松井 修⁵

¹金沢大学医薬保健研究域保健学系 ²名古屋市立大学病院脳神経外科

³Department of Radiology, University of Miami

⁴名古屋市立大学病院放射線科 ⁵金沢大学附属病院放射線科

はじめに

脳は心拍動に伴う動脈血の流入による容積負荷を受けて拍動する。われわれは bulk motion の影響をなくしても、頭蓋内に加わる容積負荷によって脳の見かけの拡散係数 (apparent diffusion coefficient : ADC) が心周期において有意に変化することを実証した¹⁾。さらに、ADC の心周期における最大変化量 (Δ ADC) は水分子の揺動の度合を示し、特発性正常圧水頭症 (idiopathic normal pressure hydrocephalus : iNPH) における大脳白質領域の Δ ADC は、健常ボランティア (Control) および脳萎縮による脳室拡大例 (atrophic ventricular dilatation : Atrophic VD) と比較して有意に大きくなることを明らかにした²⁾。しかし、 Δ ADC は水分子の揺動と制限拡散の両方に依存する。そこで本研究では水分子制限拡散に依存せずに水分子の揺動量を測定する手法を考案した。

方法と対象

静磁場強度 1.5T の MRI 装置 (Gyrosan Intera, Philips Medical Systems 社製)において、

拡散傾斜磁場の b 値を 0 および 1000 s/mm² に設定した ECG-triggered single-shot diffusion echo planar imaging で脳の撮像を行った。この際、撮像マトリックスを 64×64、エコー時間を 70 ms、繰り返し時間を 2 倍の R-R 間隔とし、心時相の間隔を 30 ms として約 20 時相の画像を取得した。この際、bulk motion の影響を最小化するために sensitivity encoding 法および half-scan 法を併用してデータサンプリング時間の短縮を図った。

次に、式(1)からピクセルごとに ADC を算出し、各心時相の ADC 画像を作成した。

$$ADC = \frac{\ln(S_1/S_2)}{b_2 - b_1} \dots \dots \dots (1)$$

ここで b_1 , b_2 は設定した各 b 値 (0 および 1000 s/mm²)、 S_1 , S_2 は b_1 , b_2 における信号強度である。

さらに水分子制限拡散に依存しない心周期の ADC 変化を測定するために、式(2)を使用して心周期における ADC の最大変化量を心周期の ADC の最大値と最小値の和で正規化した。これをピクセルごとに計算して Normalized- Δ ADC 画像を作成した。

キーワード idiopathic normal pressure hydrocephalus, diffusion weighted imaging, apparent diffusion coefficient

$$\text{Normalized-}\Delta\text{ADC} = \frac{\text{ADC}_{\max} - \text{ADC}_{\min}}{\text{ADC}_{\max} + \text{ADC}_{\min}} \dots (2)$$

ここで ADC_{\max} , ADC_{\min} は心周期における ADC の最大値と最小値である。

各対象の前頭葉白質に関心領域を設定し、Normalized- Δ ADC および Δ ADC を測定した。なお、関心領域の設定はパーシャルボリューム効果を考慮して、他の領域が含まれないように十分留意した。

対象は Control 群 8 例 (71.2 \pm 7.4 歳)、iNPH 群 14 例 (78.0 \pm 3.8 歳) および Atrophic VD 群 9 例 (72.0 \pm 9.9 歳) である。なお、本研究は当該施設の倫理委員会の承認を得ており、すべての対象者に本研究の詳細な説明をして同意を得たのち検討を行った。

結果および考察

Fig. 1 に大脳白質領域における各対象の Normalized- Δ ADC および Δ ADC を、Fig. 2 に各群の Normalized- Δ ADC 画像、 Δ ADC 画像および ADC 画像の典型例を示す。iNPH 群の Normalized- Δ ADC は Control 群および Atrophic VD 群と比較して有意に大きくなった (Fig. 1a, Fig. 2)。これは頭蓋内コンプライアンス³⁾が低下する iNPH では、頭蓋内に加わる容積負荷が脳実質に伝播しやすくなることで、脳実質内の水分子の揺動が大きくなったためであると考えられる。また、iNPH 群の Δ ADC も他の群と比較して有意に大きくなった (Fig. 1b, Fig. 2)。しかし、Normalized- Δ ADC の方が Δ ADC に比べてより有意であったことは、Normalized- Δ ADC 解析の有用性を示唆している。

結 論

Normalized- Δ ADC 解析により、水分子の制限拡散に依存せずに脳局所の水分子揺動に関す

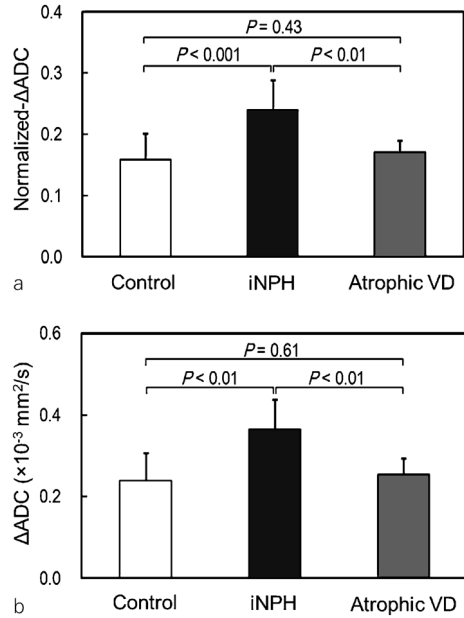


Fig. 1. (a) Normalized- Δ ADC and (b) Δ ADC in control, patients with iNPH and atrophic ventricular dilation.

る情報を非侵襲的に取得可能であり、iNPH の補助的診断にさらに有用となり得る。

文 献

- 1) Nakamura T, Miyati T, Kasai H, et al. : Bulk motion-independent analyses of water diffusion changes in the brain during the cardiac cycle. Radiol Phys Technol 2009 ; 2 : 133-137
- 2) Ohno N, Miyati T, Mase M, et al. Idiopathic normal-pressure hydrocephalus : temporal changes in ADC during cardiac cycle. Radiology 2011 ; 261 : 560-565
- 3) Miyati T, Mase M, Kasai H, et al. : Noninvasive MRI assessment of intracranial compliance in idiopathic normal pressure hydrocephalus. J Magn Reson Imaging 2007 ; 26 : 274-278

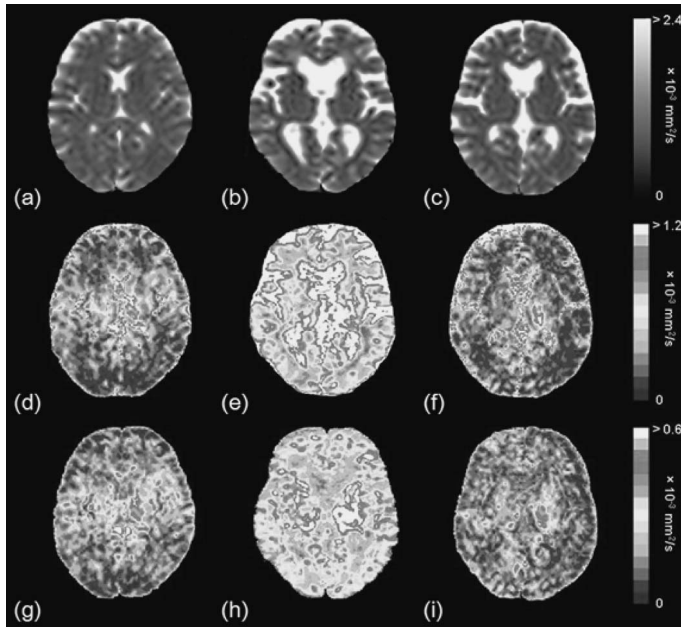


Fig. 2. Typical examples of (a–c) ADC, (d–f) Δ ADC and (g–i) Normalized- Δ ADC images in (a, d, g) control, (b, e, h) iNPH and (c, f, i) atrophic ventricular dilation.

Normalized- Δ ADC in Idiopathic Normal Pressure Hydrocephalus [Proceedings of the 2012 Young Investigator Award]

Naoki OHNO¹, Tosiaki MIYATI¹, Mitsuhito MASE²,
Noam ALPERIN³, Masaki HARA⁴, Yuta SHIBAMOTO⁴,
Harumasa KASAI⁴, Tomohiro NODA¹, Toshifumi GABATA⁵,
Osamu MATSUI⁵

¹Faculty of Health Sciences, Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Kanazawa University
5-11-80 Kodatsuno, Kanazawa, Ishikawa 920-0942

²Department of Neurosurgery and Restorative Neuroscience, Graduate School of Medical Sciences,
Nagoya City University

³Department of Radiology, University of Miami

⁴Department of Radiology, Nagoya City University Hospital

⁵Department of Radiology, Kanazawa University

Introduction : We have reported that temporal changes in the apparent diffusion coefficient (ADC) of water molecules in the brain parenchyma occur during the cardiac cycle (Δ ADC). The fluctuation of water molecules likely result from arterial inflow (volume loading) during systole, and

this information could aid in the diagnosis of idiopathic normal pressure hydrocephalus (iNPH). However, Δ ADC depends on both the degree of the fluctuation of water molecules and water restriction. The purpose of our study was to determine the degree of fluctuation of water molecules independent of water restriction.

Methods and Materials : On a 1.5T MRI, electrocardiographically-triggered single-shot diffusion echo planar imaging ($b=0$ and 1000 s/mm^2) was used with sensitivity encoding and half-scan techniques to minimize the bulk motion. Subsequently, the ADC and Δ ADC images were created. To reduce the influence of water restriction on the determination of water fluctuation over the cardiac cycle, the Normalized- Δ ADC was calculated using the maximum and minimum ADC during the cardiac cycle. The Normalized- Δ ADC image was calculated from all cardiac phase images (20 phases), on a pixel-by-pixel basis, using the following equation: $\text{Normalized-}\Delta\text{ADC} = (\text{ADC}_{\text{max}} - \text{ADC}_{\text{min}}) / (\text{ADC}_{\text{max}} + \text{ADC}_{\text{min}})$, where ADC_{max} and ADC_{min} represent the maximum and minimum ADC during the cardiac cycle, respectively. We evaluated Normalized- Δ ADC and Δ ADC in the frontal white matter in patients with iNPH ($n=14$), atrophic ventricular dilation ($n=9$), and in healthy volunteers (control group; $n=8$).

Results : Normalized- Δ ADC of patients with iNPH was significantly higher than that of patients with atrophic ventricular dilation or controls. This result could be explained by the increased “fluctuation” of water molecules in the brain parenchyma because of low compliance in iNPH. Δ ADC in iNPH was also significantly higher when compared to other groups. However, this difference was less than the Normalized- Δ ADC, suggesting that the Normalized- Δ ADC has greater diagnostic utility when compared to Δ ADC.

Conclusion : The determination of Normalized- Δ ADC may be a useful technique as a noninvasive approach to obtain detailed information on the intracranial condition, potentially facilitating the diagnosis of iNPH.