



| | |
|--------------|---|
| Title | MRIによる脳内動脈血酸素飽和度測定の試み |
| Author(s) | 中田, 一祥; 吉田, 大輔; 耕崎, 志乃 他 |
| Citation | 日本医学放射線学会雑誌. 2000, 60(1), p. 42-44 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/18123 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

MRIによる脳内動脈血酸素飽和度測定の試み

中田 一祥¹⁾ 吉田 大輔¹⁾
森尾 一夫²⁾ 安並 洋晃²⁾

耕崎 志乃¹⁾ 福本 光孝¹⁾
田和 誠²⁾ 吉田 祥二¹⁾

1)高知医科大学放射線科

2)高知医科大学放射線部

Preliminary Study of Calculating Cerebral Arterial Blood Oxygen Saturation using MRI

Kazuyoshi Nakada, Daisuke Yoshida,
Shino Kohsaki, Mitsutaka Fukumoto,
Kazuo Morio, Hiroaki Yasunami,
Makoto Tawa, and Shoji Yoshida

To assess whether cerebral arterial blood oxygen saturation (SaO_2) can be calculated by EPI, we examined the relationship between peripheral SaO_2 and $T2^*$ signal intensity (SI) changes in the brain in three normal subjects, using 1.5 Tesla MRI. To decrease SaO_2 , hypoxia was induced by 100% helium-gas inhalation (60 sec).

SI declined as SaO_2 decreased during helium inhalation, while rapid recovery of SI to the baseline was noted with recovery from hypoxia.

The differential effective transverse relaxation rate was closely correlated with SaO_2 ($r > 0.94$). Consequently, using MRI, we were able to calculate arterial SaO_2 .

はじめに

血液中のdeoxyhemoglobin (deoxy-Hb)は、susceptibility effectにより $T2^*$ weighted signal intensity (SI)を低下させる。そして生体内ではhemoglobin (Hb)はoxyhemoglobin (oxy-Hb)とdeoxy-Hbの形でほぼ100%が存在し、arterial blood oxygen saturation (SaO_2)はoxy-Hbのパーセンテージを示している。われわれは無酸素ガス呼吸によって生じる脳内のSI変化と末梢 SaO_2 変化との関係から、MRIによるregion-of-interest (ROI) 中の SaO_2 評価の可能性を検討した。

方 法

実験は説明と承諾が得られた3名の正常ボランティアを用いて、ヘリウムガスを60秒間安静呼吸することで行った。ヘリウムガスの安静呼吸を用いたのは、脳血流増加の最大の因子である血中二酸化炭素濃度を上昇させずに低酸素状態を作り出すためであり、またヘリウムガスに毒性がないことと、スピニ量子数0の希ガスであるため磁場に影響を与えないからである。実験の全期間にわたって被検者は背臥位閉眼で、安静呼吸以外の体動は禁じられた。

使用したMRI装置はSigna Horizon 1.5T (General Electric, Milwaukee Wisconsin)であり、quadrature head coilを用いた。sequenceはsingle shot EPI gradient echo type 2000/50/1 (TR/TE/excitation), flip angleは60 deg.で、matrixは128 × 128, FOVは24 × 18cm, slice thicknessは7mmである。

Fig. 1に表示されるごとく、右側頭部に設定したROIのSIを経時的に計測した。使用したワークステーションはAdvantage Windows version 2 (General Electric, Milwaukee Wisconsin)であり、SIの測定にはFunc Toolを用いた。

すべての実験は手指末梢 SaO_2 のモニタリング下に行われた。使用したパルスオキシメーターはINVIVO 4500 MRI (INVIVO RESEARCH INC., USA)である。このパルスオキシメーターは磁場の影響を受けずに測定が可能である。測定精度は実測 SaO_2 値が100~90%, 90~80%, 80~70%でそれぞれ±2.0%, ±2.2%, ±2.5%である。

Research Code No.: 209.2

Key words: EPI, SaO_2 , Blood oxygenation, Susceptibility effect, Brain

Received June 4, 1999; revision accepted Oct. 21, 1999

1) Department of Radiology, Kochi Medical School

2) Department of Radiology, Kochi Medical School

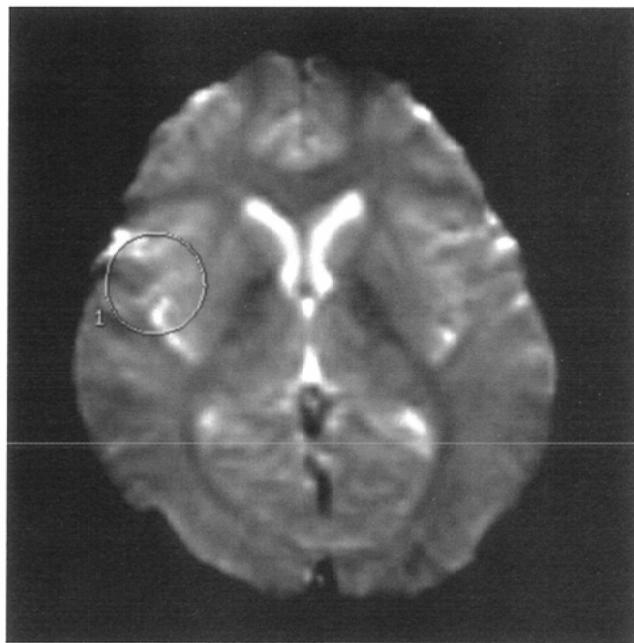


Fig. 1 Echo planar image of the brain indicating the region of interest (ROI: 900-840 mm²) used for evaluation. The region was mainly located in gray matter, but included white matter, vessels, and CSF in sulcus.

結果

ヘリウムガス吸入開始時のSIをSI₀として、SI/SI₀とSaO₂との関係を表す代表的な結果をFig. 2Aに示す。SI/SI₀とSaO₂はヘリウムガス呼吸中に非常に高い相関を示した。

定常状態時および生理変動を示している時点のSIとSaO₂をそれぞれSICとSIP, YcとYpとすると、differential effective transverse relaxation rate ΔR_{2*}は

$$\Delta R_{2*} = -\ln(SIP/SIC)/TE \quad \dots(1).$$

で求められる¹⁾。3名の被検者のヘリウムガス呼吸中のΔR_{2*}とYc-Yp (deoxy-Hb変化量%)との関係をFig. 2Bに示す。Table 1にはFig. 2Bの相関係数および回帰直線の傾きを示す。Δdeoxy-HbとΔR_{2*}には正比例関係がみられた。

考察

Ogawa²⁾らは血液中のdeoxy-Hbの増加によって可逆的な信号低下が主に血管内に生じると初めて報告した。その後の動物を用いた研究ではdeoxy-Hb濃度とΔR_{2*}の間には正比例関係が認められるとされている³⁾。しかし、ヒトでの検討は未だ十分ではなく、SaO₂とSIの間の数学的関係には不明な点も多い。

ここで一般にeffective transverse relaxation rate R_{2*}はnatural spin-spin relaxation rate R₂と磁場の不均一項R_{2i}を含むと考えられるので、

$$R_{2*} = R_2 + R_{2i} \quad \dots(2)$$

と記述でき、ΔR_{2*}は

$$\Delta R_{2*} = \Delta R_2 + \Delta R_{2i} \quad \dots(3)$$

となる。

R_{2i}の項にはmagnetic field inhomogeneities ($\gamma \Delta B$), deoxy-Hbによるsusceptibility effect ($R_{2*} < \text{deoxy-Hb}$), voxel内の組織による影響($R_{2*} < \text{tissue}$)が含まれるとされている⁴⁾。動脈血は流速の速さから、手指末梢と脳内ROIでSaO₂が等しいと仮定するならば末梢SaO₂値は $\Delta R_{2*} < \text{deoxy-Hb}$ に直接関与する。ラットを用いた報告ではaを定数、[deoxy-Hb]をdeoxy-Hb濃度とすると

$$\Delta R_{2*} = a \cdot \Delta [\text{deoxy-Hb}] \quad \dots(4)$$

が示されている^{4),5)}。式(4)の妥当性はわれわれの実験でも確認された(Fig. 2B)。

われわれの実験は呼吸停止を伴わないので、脳血管拡張の最大の因子であるPaCO₂の増加は生じないと考えられるため、ROI中の単位体積内の血液量BVは検査中一定と仮定し、さらに血中Hb濃度[Hb]も検査中は一定なので、Aを定数(A = a · BV · [Hb])とすると、式(4)は、

$$\Delta R_{2*} = A \cdot (Yc - Yp)/100 \quad \dots(5)$$

と記述できる。定数A/100はFig. 2Bの直線の傾きである。さらに式(1), (5)の右辺より、

$$Yp - Yc = 100 \cdot \ln(SIP/SIC)/(TE \cdot A) \quad \dots(6)$$

ゆえにSaO₂はSIの関数として表せた。A = a · BV · [Hb]を用いて式(6)を変形すると、

$$BV \cdot [Hb] \cdot (Yp - Yc)/100 = \ln(SIP/SIC)/(TE \cdot a) \quad \dots(7)$$

定数aは式(5)より、母集団の被検者のBVと[Hb]を用いて施設ごとに定められるであろう。また、式(7)の左辺は単位体積中のoxy-Hbの変化量に相当する。すなわち、式(7)は任意のROI中のoxy-Hb量の変化をMRIで一般的に求めることを示しているのである。

しかしながら、われわれが検討に用いたROIには動脈血だ

けではなく静脈血も存在する。この両者を選択的に評価することができないことが、現時点でのわれわれの検討の限界点となっている。

われわれはMRIによる脳局所のSaO₂測定の可能性を示し

た。この原理は脳内にとどまらず、 ΔR_2^* 、 $\Delta(\gamma \Delta B)$ 、 $\Delta R_2^* < \text{tissue}$ が十分に小さければ他の如何なる臓器や組織においても成り立つと考えられ、臓器や組織の酸素化状態評価やそれによる分離など、今後の応用が期待される。

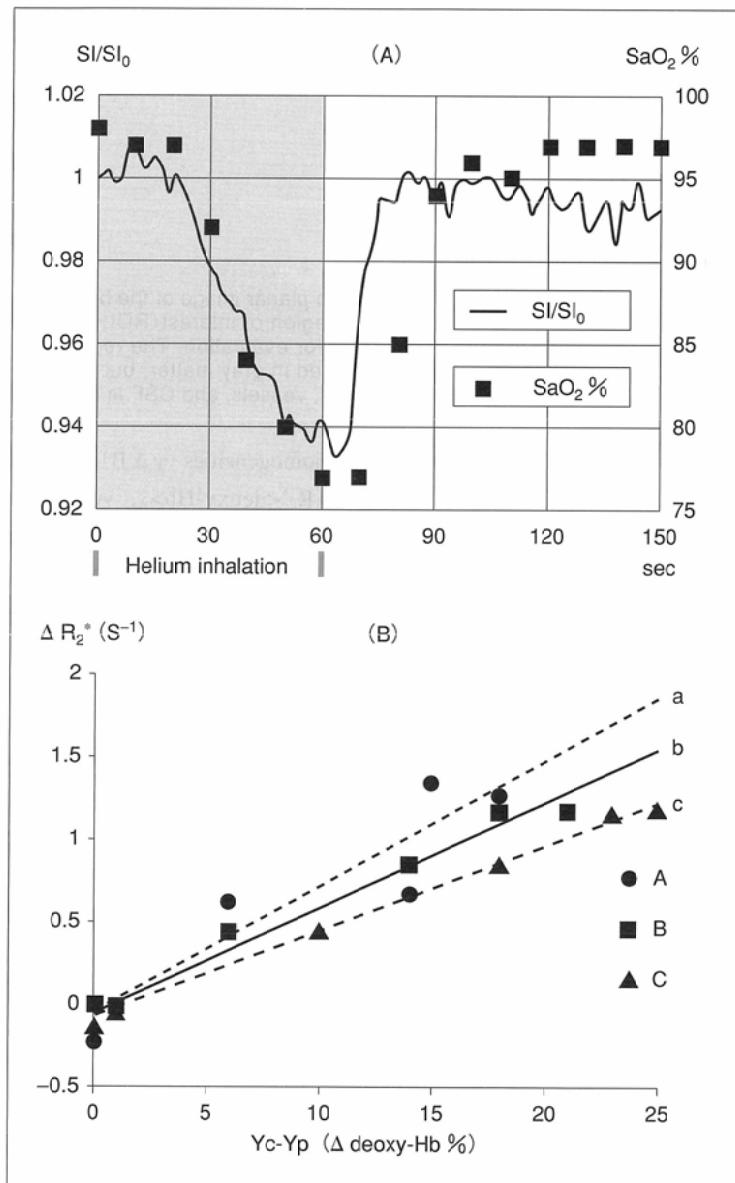


Fig. 2

A: Representative data of the relationship between T_2^* signal intensity (SI) ratio and arterial blood oxygen saturation (SaO_2). Curved line shows SI ratio and square dots represent SaO_2 value. SI ratio and SaO_2 value began to attenuate at the same time. However, while the SI ratio reverted rapidly immediately after helium inhalation, the recovery of SaO_2 was slower and showed some delay.

B: Relationship between changes in deoxyhemoglobin (deoxy-Hb) and ΔR_2^* during helium inhalation (dots A, B, C: ΔR_2^* in each subject; straight lines a, b, c: regression lines of each datum; Y_c : SaO_2 under control condition; Y_p : SaO_2 during physiological perturbation).

There was a direct proportional relationship between changes in deoxy-Hb and ΔR_2^* .

Table 1 Statistic of subjects A-C

| Subject | Correlation coefficient | Slope of the regression line |
|---------|-------------------------|------------------------------|
| A | 0.944 | 7.75×10^{-2} |
| B | 0.986 | 6.43×10^{-2} |
| C | 0.997 | 5.19×10^{-2} |

文 献

- Hoppel BE, Weisskoff RM, Thulborn KR, et al: Measurement of regional blood oxygenation and cerebral hemodynamics. Magn Reson Med 30: 715-723, 1993
- Ogawa S, Lee TM, Nayak AS, et al: Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields. Magn Reson Med 14: 68-78, 1990.
- Le Bilan D, ed: Diffusion and Perfusion Magnetic Resonance Imaging, Application to Functional MRI. Chapter 16. 319-325, 1995, Raven Press, New York
- Prielmeyer F, Nagatomo Y, and Frahm J: Cerebral blood oxygenation in rat brain during hypoxic hypoxia: Quantitative MRI of effective transverse relaxation rates. Magn Reson Med 31: 678-681, 1994
- Ogawa S, Lee TM, and Barrere B: The sensitivity of magnetic resonance image signals of a rat brain to changes in the cerebral venous blood oxygenation. Magn Reson Med 29: 205-210, 1993