

多様な睡眠様態に対応する自動睡眠分析技術の開発

国際統合睡眠医科学研究機構 (WPI-IIIS), ヒューマニクス学位プログラム D4 津本 紗希

概要

従来判定精度が低かったSAS患者データに対応する睡眠ステージ自動判定モデルを構築した。該当エポックの前後の情報もモデルの入力として用いることによって判定精度が改善することがわかった。

研究背景

- 睡眠検査解析の自動化が求められているが、患者数も多い睡眠時無呼吸 (SAS) の睡眠は健康者と異なる特徴を持ち既存の自動判定モデルの判定精度は不十分である (表 1)
- 在宅でPSGと同程度の精度で睡眠時の脳波を計測することができる (図 1)

	臨床数	睡眠の特徴	技師が判定に要する時間
健康者	少	遷移回数少	30分程度
SAS	多	頻回遷移 覚醒反応	1時間以上

表 1. 健康者とSASの睡眠検査



図 1. 在宅睡眠脳波計測 (ISG)

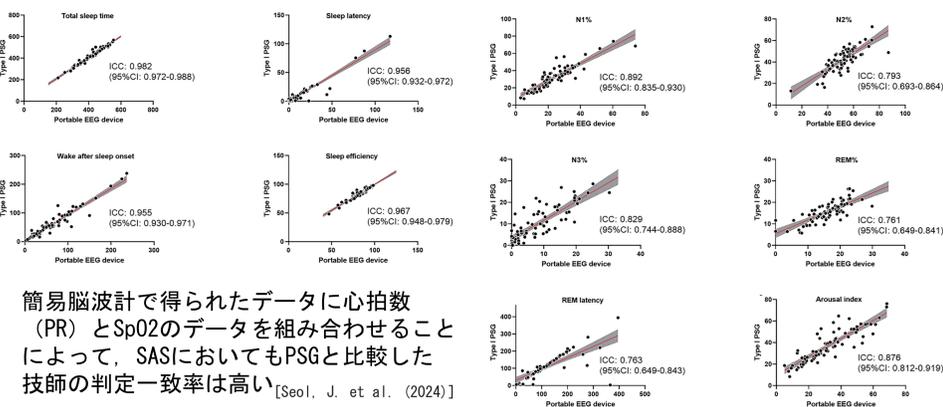


図 2. AHIによるPSG判定技師間一致率の変化

- 簡易脳波計で得られたデータに心拍数 (PR) とSpO2のデータを組み合わせることによって、SASにおいてもPSGと比較した技師の判定一致率は高い [Seol, J. et al. (2024)]

	被験者の属性	
	健康者	SAS
技師_PSG vs 技師_PSG	○82.6% [Rosenberg RS. et al. (2013)]	73% [図3]
技師_PSG vs 技師_ISG	○86.9% [Seol, J. et al. (2022)]	○ISG+PR+SpO2: 78.4% [Seol, J. et al. (2024)]
技師_ISG vs AI_ISG	○81.3% [投稿準備中]	本研究

表 2. PSGとISGデータに対する技師とAIのステージ判定一致率の比較

目的 簡易脳波計のデータを用いて、SAS患者特有の睡眠の特徴を捉える自動判定モデルを作成し、その精度を検証する。

手法

- 入力: 1エポック (30秒) または、前後各5エポックを含む11エポック
 出力: 5種類の睡眠ステージ (Wake, REM, NREM1, NREM2, NREM3)
 要件: 正解データ作成時には深層学習に入力したデータに加え、PRとSpO2の情報を用いて熟練技師がステージ判定を行った
- SAS患者と健康者群を分け、シングルエポックモデルと前後考慮モデルを作成
 - 作成したモデルに対し、それぞれの属性のテストデータを当てはめることによって精度を検証



図 3. モデル作成の概念図

結果

データ: 在宅脳波計測デバイスで計測した重症SAS76名, 健康者99名
モデル構造: Convolutional Neural Network

結果①: SASおよび健康者群において、前後を考慮したモデルは単一エポックのみ注目するモデルと比較して有意に判定精度が高い (図 4)



図 4. 健康者とSASのモデル別精度

結果②: 学習データと違う属性のテストデータを当てはめると著しく精度が低下する (表 3)

モデル	属性	正解率 (%)	
		健康者	SAS
健康者_シングル	W	78.4	66.8
	R	78.4	66.8
健康者_11エポック	W	81.1	66.5
	R	81.1	66.5
SAS_シングル	W	61.2	75.7
	R	61.2	75.7
SAS_11エポック	W	61.8	77.7
	R	61.8	77.7
MIX_シングル	W	76.6	73.8
	R	76.6	73.8
MIX_11エポック	W	79.1	74.3
	R	79.1	74.3

表 3. モデルおよびテストデータ別精度

結果③: SASで学習したモデルにSASデータを当てはめたところ、N3を除く全てのステージで再現率が改善した (表 4)

モデル	属性	技師判定				
		W	R	N1	N2	N3
SAS_シングル	W	86.0%	1.9%	11.1%	0.3%	0.1%
	R	1.6%	69.2%	12.1%	1.6%	0.0%
	N1	9.5%	18.1%	55.9%	13.8%	2.0%
	N2	2.3%	10.4%	20.4%	80.4%	20.5%
	N3	0.6%	0.3%	0.4%	8.9%	77.4%
SAS_11エポック	W	87.1%	1.9%	10.5%	0.4%	0.2%
	R	2.0%	76.9%	7.7%	1.3%	0.0%
	N1	9.0%	13.8%	60.7%	13.5%	2.5%
	N2	1.7%	7.3%	20.8%	80.9%	23.2%
	N3	0.2%	0.1%	0.2%	3.8%	74.0%

表 4. SASモデルを用いたSASデータ検証時の混同行列精度

考察

- 前後を考慮する本アプローチはSASにおいても有効であり、SAS特有の覚醒反応などに起因する頻回の睡眠ステージ遷移の特徴を捉えることができていると考える (結果①)
- 属性の異なるテストデータでの検証により、SASまたは健康者に特化したモデルを同属性のデータ適用することで判定精度が保たれることがわかった (結果②)
- N3のみ再現率が改善しなかった理由は、SASデータに含まれるN3の割合が少ないため、一つの間違いが比較的大きな精度低下をまねくためと考えられる (結果③)

今後の展望

- 呼吸情報を入力データとして用いたモデルの作成
- 覚醒反応の検出

謝辞

本研究はAMEDの課題番号JP21zf0127005, JST CREST JPMCR22M2, JSPS科研費JP22K19802, JP23K16988, JP21H03552, JST次世代研究者挑戦的研究プログラムJPMJSP2124の支援を受けたものです。