

睡眠時の呼吸データの時間周波数解析

白水 重憲¹⁾, 近藤 英明²⁾, 片山 宗哲¹⁾

要旨 睡眠ポリグラフ検査結果の中のRR間隔変動(ECG), 鼻腔気流(Naf), 胸部(RC)・腹部(Abd)呼吸データを時間周波数解析し, 呼吸周波数(RFRE)とその変動幅(VRFRE)を求め, その睡眠の深さとの関係を把握した。

RFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abdはほぼ同じ値であり, これらが0.2 Hz以上の場合は, RFRE_ECGとの相違は0.01 Hz以下であった。RFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abdが0.2 Hz以下になると相違は若干大きくなったが最大でも0.04 Hzであった。RFRE_ECGは, RFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abdの良い推定値である事が示された。なお, RFREには, 睡眠の深さと一般的な関係は無かった。

VRFREはNREM睡眠で小さく, REM睡眠ではNREM睡眠領域に比較すると大きかった。

キーワード: 呼吸周波数, 呼吸周波数変動幅, NREM睡眠, RR間隔変動, ポリグラフ

1. はじめに

我々は, ポリグラフと超小型軽量の心電・加速度・温度測定装置(M-BIT)¹⁾による同時測定を行い, Rechtschaffen & Kalesによる国際睡眠判定基準²⁾による判定結果と微小体動による睡眠・覚醒判定結果を対比し, 副交感神経活動(PSNS)・交感神経活動の指標(SNS), 呼吸周波数(RFRE)とその変動幅(VRFRE), 及び平均心拍数(HR)の睡眠の深さによる変化を求めた。この中で, VRFREは睡眠の深さと共に変化し, 浅睡眠と深睡眠で小さく, 覚醒とREM睡眠で大きく, その変化は顕著であり, この変化に基づくNREM睡眠領域の推定の可能性が示唆された³⁾。

我々は引き続き, ポリグラフとM-BITによる同時測定を行い, VRFREがNREM睡眠時に減少する事を利用したNREM睡眠領域検出(VRFRE)法を提唱し, ポリグラフ睡眠段階との一致率が最大になる閾値

を探した。閾値0.053Hzで, 一致率0.792, 感度0.872, 特異値0.469であった。VRFREによるNREM睡眠領域の推定法の確立は, 微小体動法の問題点の補完のみならず, 微小体動法との併用により, REM睡眠の領域の推定の可能性も期待できた³⁾。

本報では, 睡眠ポリグラフ検査の測定結果の中の電データ(ECG), 鼻腔のエアフロー(Naf)と, 胸部(RC)ならびに腹部(Abd)の呼吸運動を解析して, これら4種類のデータから求めた睡眠時のRFREとVRFREの挙動を比較した。

2. 測定と解析

2-1 被験者

被験者は医学部学生の自主研究のために polysomnography を行った男性10人で, 平均年齢は 21.6 ± 3.2 歳(表1), 習慣性飲酒者, 喫煙者および内科的・精神的疾患を有する者は除外した。自覚的な睡眠状態は Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) を用いて評価した。PSQIのglobal scoreの平均は 3.5 ± 1.5 (1人が6で9人が5以下)で日本人健常者とはほぼ同じ結果で

1) NPO法人セルフケア総合研究所

2) 済生会長崎病院 睡眠医療センター

受付日: 2013年10月20日

採択日: 2013年10月31日

表1 被験者

被験者	年齢(才)	性別
1	23	M
2	19	M
3	19	M
4	21	M
5	21	M
6	21	M
7	18	M
8	21	M
9	23	M
10	30	M

あった。Polysomnographyでは睡眠呼吸障害や周期性下肢運動は認めず、睡眠効率は $93.7 \pm 3.7\%$ であった。

2-2 Polysomnography

脳波電極は睡眠覚醒段階を判定するためのF3-M2, F4-M1, C3-M2, C4-M1, O1-M2, O2-M1の単極誘導での記録を行った。電気眼球図, 両側側頭筋筋電図, 両側咬筋筋電図オトガイ筋筋電図, 心電図, 前脛骨筋筋電図のための電極に加えて, サーモカップル法センサーでNafデータを, respiratory inductance plethysmographyで胸腹部の呼吸運動(RC, Abd)を記録した。ECG測定誘導はI誘導或いはII誘導であった。また, 体位センサー, いびきセンサー, パルスオキシメーターを装着した。デジタル脳波計はNeurofax EEG-1200®(日本光電), およびPolymate AP1532®(デジテックス研究所)を使用し, ECGのサンプリング周波数は500 Hz或いは1000 Hzとし, Naf及びRC, Abd呼吸運動データのサンプリング周波数は100 Hzとした。それ以外の, 各チャンネルのサンプリング周波数は500 Hzとした。

睡眠段階の解析にはNightOwl Professional®(のるぶらイトシステムズ)を用いて30 secを1エポックとして2007年American Academy of Sleep Medicineのスコアリングルール³⁾にもとづき視察判定を行った。

2-3 RR間隔の抽出

世界中で広範に使用されている頑健なりアルタイムQRSピーク抽出アルゴリズムをベースにした方法で, 心電図波形上でR波の時間位置を求めた¹⁾。T波とR波の鋭さの違いに着目する事で, T波が非常に大きい幼児の場合でも, 正確にR波のピークの時間位置が検出できるようにアルゴリズムに改良を施した¹⁾。RR間隔データの分布挙動に着目する事により真のRR間隔データとアーティファクトを分別し, また, 全解析範囲のRR間隔データと心電波形を同時に目視判定

し, アーティファクトは全て棄却した¹⁾。

2-4 RR間隔からの呼吸周波数RFRE及び呼吸周波数変動幅VRFREの推定

RR間隔信号を周波数4 Hzでリサンプリングして等間隔時系列とし, 睡眠・覚醒判定と同様に1分間を解析時間単位として, 1分間毎にSPWV(Smoothed Pseudo Wigner-Ville)法を使用して時間周波数解析を行い, 時間周波数MAPを得た¹⁾。時間周波数解析では, 時間分解能と周波数分解能の両方を大きくする事はできない為, 本研究では周波数の挙動が重要であるので周波数分解能を大きくなるように調節した。

高周波成分の下限の0.15Hz以上の周波数のRR間隔変動は呼吸性洞性不整脈である事を基にしたJasson等の方式⁶⁾を拡張して, 0.15 Hzから平均心拍数の半分の周波数⁷⁾までの範囲の瞬時中心周波数(CFR)を求め⁸⁾, 更に, 10秒間毎の平均値を求め呼吸周波数RFRE_ECGとした。更に, その1分間の変動を呼吸周波数変動幅VRFRE_ECGとした。

2-5 Naf, RC及びAbd呼吸データの解析

呼吸の周波数は安静覚醒時で0.3 Hz程度であり睡眠時は更に小さい。我々は, Naf, RC, Abdの各呼吸データを4 Hzでリサンプリングしても情報の欠損が無い事を確認し, リサンプリングされたRR間隔変動データと同じ方法で時間周波数MAPを得た。各時点ごとに強度最大の周波数を求め, その10秒間毎の平均値を呼吸周波数とした。更にその1分間の平均値をRFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abd, その1分間の変動をVRFRE_Naf, VRFRE_RC, VRFRE_Abdとした。

尚, ポリグラフ測定の結果に基づくステージ判定の解析エポック長は30秒であるので, 1分間毎に求めた各RFRE及びVRFREは

$$\text{前半の30秒の値} = \text{後半の30秒の値} = 1\text{分間の値}$$

という方法で30秒エポックのものに変換し, ステージ判定結果と比較した。

2-6 睡眠の深さ毎の値

ポリグラフ検査による判定結果に基づき, 浅睡眠(睡眠ステージN1とN2), 深睡眠(ステージN3)及びREM睡眠を合わせて3つのステージに分類し, 4つの測定法によるRFREとVRFREの各ステージの平均値, 標準偏差を求めた。

3. 結果と考察

3-1 NREM 睡眠時の時間周波数 MAP

図 1 から 4 に、深睡眠時の RR 間隔変動, Naf, RC, Abd の時間周波数 MAP の例を示した。1 分間ごとの時間周波数 MAP であり、横軸が時間、縦軸が周波数である。左端のマーカの赤は RR 間隔変動の低周波領域 (0.04 Hz ~ 0.15 Hz), 青は高周波領域 (0.15 Hz ~ 0.4 Hz) を示している。図最上部に表示されている数字は、測定開始日の 0 時 0 分からの分数であり、次段の RFRE, VRFRE はこの 1 分間の値である。

MAP 下部に黒色の点の集まりで示されている RR 間隔及び各呼吸データの波形はそれぞれ異なっているが、周波数は安定しており、どの MAP にも呼吸周波

数の位置に水平に帯状のピークが存在していた。これを反映して VRFRE の値は小さかった。更に、周期性が明瞭な呼吸データでは、高調波の位置にもピークが存在した。

3-2 REM 睡眠時の時間周波数 MAP

図 5 から 10 に REM 睡眠時の時間周波数 MAP の例 (Naf と RRV) を示した。REM 睡眠時には 1 分間の中での呼吸周波数の変動が大きく、その変動の挙動としては、帯状のピークが屈曲し連続的に変化するもの (図 5, 6), 一定値から一定値へのジャンプ (図 7, 8), 徐々に低下した後、大きな値にジャンプして戻る (図 9, 10) 等のパターンが存在した。呼吸周波数のこのような挙動を反映して VRFRE は大きくなった。な



図 1 NREM 睡眠時の RR 間隔変動の 1 分間の時間周波数 MAP の例 (被験者 9, 深睡眠)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は 0.04 Hz ~ 0.15 Hz, 青は 0.15 Hz ~ 0.4 Hz。最上部数字は、測定開始日の 0 時 0 分からの分の数。次段の RF RE, VRF RE はこの 1 分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。



図 3 NREM 睡眠時の RC 呼吸運動の 1 分間の時間周波数 MAP の例 (被験者 9, 深睡眠)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は 0.04 Hz ~ 0.15 Hz, 青は 0.15 Hz ~ 0.4 Hz。最上部数字は、測定開始日の 0 時 0 分からの分の数。次段の RF RE, VRF RE はこの 1 分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。

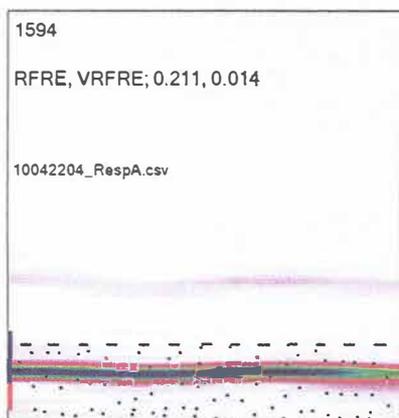


図 2 NREM 睡眠時の Naf の 1 分間の時間周波数 MAP の例 (被験者 9, 深睡眠)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は 0.04 Hz ~ 0.15 Hz, 青は 0.15 Hz ~ 0.4 Hz。最上部数字は、測定開始日の 0 時 0 分からの分の数。次段の RF RE, VRF RE はこの 1 分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。



図 4 NREM 睡眠時の Abd 呼吸運動の 1 分間の時間周波数 MAP の例 (被験者 9, 深睡眠)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は 0.04 Hz ~ 0.15 Hz, 青は 0.15 Hz ~ 0.4 Hz。最上部数字は、測定開始日の 0 時 0 分からの分の数。次段の RF RE, VRF RE はこの 1 分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。

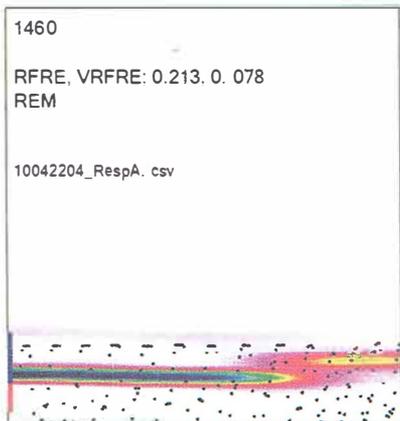


図5 REM睡眠時のNafの1分間の時間周波数MAPの例(被験者9)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は0.04Hz~0.15Hz, 青は0.15Hz~0.4Hz。最上部数字は、測定開始日の0時0分からの分の数。次段のRFRE, VRFREはこの1分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。

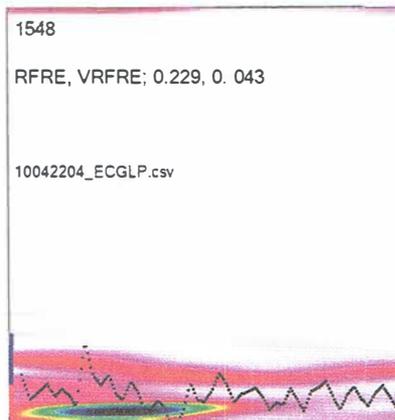


図8 図7に対応するREM睡眠時のRR間隔変動の1分間の時間周波数MAP(被験者9)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は0.04Hz~0.15Hz, 青は0.15Hz~0.4Hz。最上部数字は、測定開始日の0時0分からの分の数。次段のRFRE, VRFREはこの1分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。



図6 図5に対応するREM睡眠時のRR間隔変動の1分間の時間周波数MAP(被験者9)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は0.04Hz~0.15Hz, 青は0.15Hz~0.4Hz。最上部数字は、測定開始日の0時0分からの分の数。次段のRFRE, VRFREはこの1分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。



図9 REM睡眠時のNafの1分間の時間周波数MAPの例(被験者9)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は0.04Hz~0.15Hz, 青は0.15Hz~0.4Hz。最上部数字は、測定開始日の0時0分からの分の数。次段のRFRE, VRFREはこの1分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。

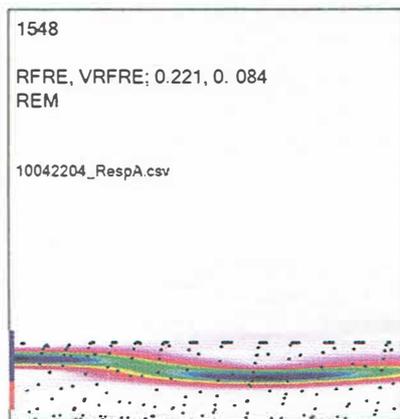


図7 REM睡眠時のNafの1分間の時間周波数MAPの例(被験者9)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は0.04Hz~0.15Hz, 青は0.15Hz~0.4Hz。最上部数字は、測定開始日の0時0分からの分の数。次段のRFRE, VRFREはこの1分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。

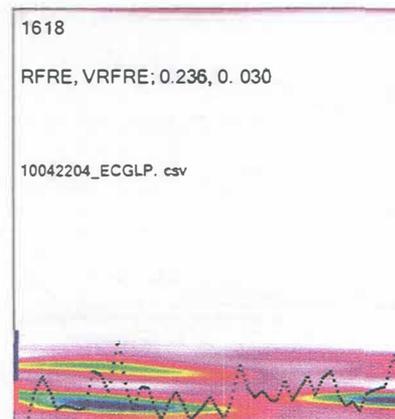


図10 図9に対応するREM睡眠時のRR間隔変動の1分間の時間周波数MAP(被験者9)

横軸が時間、縦軸が周波数。左端のマーカの赤は0.04Hz~0.15Hz, 青は0.15Hz~0.4Hz。最上部数字は、測定開始日の0時0分からの分の数。次段のRFRE, VRFREはこの1分間の値。下部に黒色の点の集まりは被解析データ。

お、REM 睡眠領域に属するすべての1分間で呼吸周波数はこのように大きな変動を示す訳ではなかった。NREM 睡眠時同様に水平のものや屈曲性の小さなものも存在し VRFRE の値は小さかった。また、同様に NREM 睡眠にも屈曲したものが存在し VRFRE が大きい場合もあった。REM 睡眠時には急速眼球運動に伴い換気量が低下することが報告されており⁹⁾、急速な換気量変動に伴い呼吸周波数が大きく変動するものと推察された。

3-3 RFRE の挙動

このような睡眠の深さと呼吸周波数の挙動、更に測定方法による相違を総括的に把握する為に、表2に各被験者の睡眠の深さごとの4つの種類の RFRE と VRFRE の値を、ECG, Naf, RC, Abd の順に示した。予想された事であるが、RFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abd の値は、ほぼ等しかった。これらが呼吸周波数の実測値であり、総称する場合は実測値と呼ぶ。完全に等しい値では無い理由は、図2から4に示

表2 RFRE と VRFRE の測定結果

	RFRE						VRFRE						
	浅睡眠		深睡眠		REM 睡眠		浅睡眠		深睡眠		REM 睡眠		
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	
1	ECG	0.199	0.014	0.196	0.018	0.208	0.014	0.025	0.015	0.019	0.014	0.031	0.015
	Naf	0.153	0.012	0.162	0.010	0.166	0.017	0.034	0.025	0.025	0.025	0.064	0.027
	RC	0.154	0.015	0.162	0.011	0.165	0.018	0.035	0.028	0.027	0.028	0.069	0.028
	Abd	0.155	0.014	0.162	0.009	0.167	0.019	0.039	0.031	0.029	0.030	0.066	0.027
2	ECG	0.240	0.016	0.252	0.023	0.237	0.019	0.030	0.018	0.025	0.014	0.033	0.014
	Naf	0.239	0.017	0.250	0.020	0.232	0.021	0.026	0.020	0.028	0.036	0.037	0.018
	RC	0.238	0.017	0.251	0.019	0.231	0.021	0.029	0.027	0.025	0.022	0.043	0.026
	Abd	0.239	0.017	0.250	0.020	0.232	0.021	0.028	0.023	0.029	0.031	0.038	0.021
3	ECG	0.234	0.013	0.244	0.010	0.244	0.025	0.028	0.016	0.023	0.011	0.040	0.018
	Naf	0.232	0.018	0.249	0.011	0.240	0.025	0.042	0.036	0.023	0.018	0.054	0.041
	RC	0.237	0.017	0.249	0.011	0.245	0.026	0.033	0.029	0.023	0.020	0.051	0.041
	Abd	0.237	0.016	0.249	0.008	0.244	0.023	0.030	0.020	0.026	0.023	0.048	0.032
4	ECG	0.245	0.011	0.259	0.008	0.257	0.020	0.028	0.016	0.022	0.012	0.040	0.018
	Naf	0.249	0.015	0.263	0.010	0.263	0.023	0.029	0.023	0.022	0.015	0.052	0.032
	RC	0.247	0.018	0.262	0.011	0.265	0.023	0.033	0.032	0.023	0.016	0.052	0.030
	Abd	0.249	0.016	0.262	0.010	0.263	0.023	0.031	0.029	0.023	0.017	0.056	0.043
5	ECG	0.227	0.010	0.227	0.006	0.242	0.018	0.025	0.014	0.016	0.007	0.036	0.018
	Naf	0.218	0.013	0.222	0.007	0.242	0.029	0.028	0.024	0.017	0.018	0.045	0.029
	RC	0.218	0.015	0.223	0.007	0.242	0.029	0.032	0.031	0.019	0.017	0.050	0.032
	Abd	0.220	0.014	0.223	0.011	0.243	0.031	0.033	0.029	0.018	0.016	0.051	0.039
6	ECG	0.227	0.011	0.233	0.010	0.232	0.012	0.026	0.013	0.024	0.013	0.033	0.015
	Naf	0.236	0.017	0.247	0.013	0.270	0.026	0.035	0.028	0.026	0.027	0.060	0.030
	RC	0.247	0.040	0.247	0.015	0.278	0.029	0.054	0.058	0.029	0.038	0.084	0.056
	Abd	0.252	0.041	0.254	0.035	0.269	0.030	0.066	0.075	0.045	0.062	0.073	0.053
7	ECG	0.253	0.025	0.271	0.019	0.252	0.020	0.033	0.022	0.028	0.015	0.038	0.020
	Naf	0.246	0.024	0.270	0.017	0.245	0.023	0.037	0.037	0.022	0.015	0.048	0.029
	RC	0.243	0.025	0.270	0.017	0.245	0.028	0.039	0.041	0.020	0.012	0.056	0.044
	Abd	0.246	0.024	0.270	0.018	0.247	0.025	0.037	0.035	0.021	0.014	0.046	0.028
8	ECG	0.214	0.015	0.220	0.016	0.229	0.015	0.031	0.018	0.029	0.014	0.038	0.017
	Naf	0.194	0.020	0.199	0.011	0.208	0.020	0.048	0.042	0.030	0.024	0.070	0.035
	RC	0.195	0.023	0.203	0.016	0.212	0.021	0.053	0.048	0.039	0.052	0.078	0.042
	Abd	0.200	0.024	0.198	0.009	0.220	0.025	0.057	0.049	0.032	0.039	0.077	0.040
9	ECG	0.218	0.016	0.232	0.014	0.237	0.022	0.022	0.016	0.022	0.017	0.039	0.021
	Naf	0.210	0.016	0.225	0.009	0.232	0.027	0.022	0.019	0.016	0.007	0.044	0.023
	RC	0.209	0.017	0.225	0.008	0.228	0.026	0.029	0.037	0.016	0.007	0.045	0.022
	Abd	0.210	0.018	0.221	0.012	0.232	0.026	0.028	0.029	0.030	0.024	0.043	0.021
10	ECG	0.236	0.013	0.232	0.008	0.262	0.022	0.027	0.016	0.017	0.012	0.044	0.021
	Naf	0.228	0.021	0.230	0.020	0.230	0.026	0.032	0.029	0.029	0.030	0.043	0.028
	RC	0.225	0.026	0.229	0.021	0.228	0.032	0.041	0.052	0.032	0.036	0.054	0.055
	Abd	0.227	0.024	0.230	0.023	0.231	0.027	0.047	0.042	0.051	0.053	0.055	0.035

したようにそれぞれのセンサーの検出対象および検出のメカニズムが異なる為時間周波数解析に供する呼吸データの波形が異なる事、また、それぞれ独立にアーティファクトが混入する事が考えられた。

RFRE_ECG と実測値の関係は大別して2種類に分けられた。実測値が0.200 Hz 以上になると、RFRE_ECG と実測値との値の相違は0.01 Hz 程度以下となった。

一方、RR 間隔変動のうち呼吸起因と考えられるのは、0.15 Hz 以上の成分であり、それ以下の周波数の成分には、交感神経活動の影響等も出現する。この為、RR 間隔変動からの呼吸周波数の算出周波数領域は0.15 Hz 以上とした。この為、実測値が0.20 Hz 以下になるとその影響が出てきた。実測値が0.20 Hz 程度の場合には大きさの相違は0.02 Hz 程度になり(被験者5)、0.17 Hz 以下になると0.04 Hz 程度となった(被験者1)。しかしながら、この場合でもRFRE_ECG は簡便に測定できる呼吸周波数の推測値として十分役に立つものと考えられた。

なお、実測値の値は0.155 Hz から0.278 Hz まで分布したが、睡眠の深さとの関係は、個人差が大きく、一般的な依存性は無かった。

3-4 VRFRE の挙動と NREM 睡眠領域の推定

図1から10に示したNREM 睡眠時とREM 睡眠時の呼吸周波数の挙動の相違はVRFRE に顕著に現われた。4つの種類のVRFRE の値はいずれも、浅睡眠と深睡眠では0.060 Hz 以下と小さく、REM 睡眠では大きかった。これらの図と表に示された結果は、我々がこれまでVRFRE_ECG で発見し報告して来た睡眠時特にNREM 睡眠時のVRFRE_ECG の低下は、実際の呼吸挙動を反映したものである事を示し、更に、VRFRE_ECG の値によるNREM 睡眠領域の探索する事の根拠を示した。また、微小体動法が睡眠と判定した領域内のVRFRE が大きな領域をREM 睡眠領域と仮定する事の妥当性も示したのと考えられた。

同じ、被験者・睡眠の深さで比較すると4種類のVRFRE が揃って同様の小さな値を示す事が多かったが、値の間に相違がある場合も存在しVRFRE_Naf, VRFRE_RC, VRFRE_Abd がVRFRE_ECG の倍近くになる事もあった。この相違は、Naf, RC, Abd の方は、1分間ごとに求めた時間周波数MAPの各時点のピーク位置を追跡して呼吸周波数を求めているのに対し、RFRE_ECG は周波数と強度の積を積分して求め

ておりスムージング効果がある為と考えられた。

4. 終わりに

4種類の測定法により得られた呼吸データの時間周波数MAPを比較し、NREM 睡眠時・REM 睡眠時の呼吸周波数の挙動を把握した。

RFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abd はほぼ同じ値であり、これらが0.2 Hz 以上の場合には、RFRE_ECG との相違は0.01 Hz 以下であった。RFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abd が0.2 Hz 以下になると相違は若干大きくなったが最大でも0.04 Hz であった。RFRE_ECG は、RFRE_Naf, RFRE_RC, RFRE_Abd の良い推定値である事が示された。なお、RFRE には、睡眠の深さと一般的な関係は無かった。

VRFRE はNREM 睡眠で小さく、REM 睡眠ではNREM 睡眠領域に比較すると大きかった。

参考文献

- 1) 白水重憲, 片山宗哲, 正木健雄: 幼稚園児の自律神経活動の24時間モニタリング. 全面発達の展開 1: 32-41, 2011.
- 2) Rechtschaffen A and Kales A: A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects: Public Health Service, U. S. Government Printing Office. Washington. D. C. 1968.
- 3) 白水重憲, 成澤 元, 片山宗哲他: 国際基準に基づいた睡眠ポリグラフ判定と超小型生体センサー(M-BIT)の測定データに基づく睡眠解析結果のケース比較. 全面発達の展開 2: 8-18, 2012.
- 4) 白水重憲, 近藤英明, 森 佳織他: 呼吸周波数変動幅によるNREM 睡眠領域検出. 全面発達の展開 2: 83-90, 2013.
- 5) Iber C, Ancoli-Israel S, Chesson A, Quan S. for the American Academy of Sleep Medicine. 1st ed. Westchester: IL: American Academy of Sleep Medicine; 2007. The AASM manual for the scoring of sleep and associated events: rules, terminology and technical specifications.
- 6) Jasson S, Medigue C, Maison P et al. Instant Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability During Orthostatic Tilt Using a Time-/Frequency-Domain Method: Circulation 96: 3521-3526, 1997.
- 7) Bailón R, Laguna P, Mainardi L et al. Analysis of Heart Rate Variability Using Time-Varying Frequency Bands Based on Respiratory Frequency: Proc. 29th Ann. IEEE EMBS Int. Conf., Lyon, France 6674-6677, 2007.
- 8) Boashash B. Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal, I: fundamentals: Proc IEEE. 80: 520-538, 1992.
- 9) Nakamura A, Fukuda Y and Kuwaki T: Sleep apnea and effect of chemostimulation on breathing instability in mice: J Appl Physiol. 94: 525-532, 2003.