

日中の咀嚼筋筋電図バイオフィードバック訓練が
睡眠中の脳波に及ぼす影響

大塚 英稔

明海大学大学院歯学研究科

歯学専攻

(指導：藤澤政紀教授)

**Effect of Daytime Biofeedback Training on Sleep
Electroencephalograms**

Hidetoshi Otsuka

Meikai University Graduate School of Dentistry

(Mentor: Prof. Masanori FUJISAWA)

Abstract

Sleep bruxism (SB) is well-known as one of the sleep disorders. Daytime electromyogram (EMG) biofeedback (BF) training aimed to regulate awake bruxism (AB) was found to be also effective to reduce SB in previous study. This study hence, aimed to investigate effect of daytime EMG-BF training on sleep electroencephalogram (EEG). Eight male subjects (age: 22.6 ± 0.7 years) were recruited for this study. All subjects were diagnosed having SB according to ICSD - 2 criteria and also verified their SB status via polysomnogram (PSG) recording for 1 night before actual experiment. Subjects were randomly divided into BF group (n = 4) or control (CO) group (n = 4). EMG recordings with a portable device and PSG were undertaken for 5 hours in daytime and during sleep, respectively. Subjects in both groups were recorded their EMGs 4 days in consecutive 3 weeks. Although BF group recognized their EMG activities exceeding defined threshold in week 2, no BF signal was received in week 1 and 3, nor CO group throughout the recording period. EEGs were recorded during sleep for both groups. Power spectra of EEG delta band (0.50 - 4.00 Hz) and alpha band (8.00 - 13.00 Hz) were analyzed by fast Fourier transform. In BF group, alpha band power decreased and delta band power increased in week 2 and 3 compared with those in week 1.

With limitation of study design, it can be concluded that daytime EMG-BF training may help to improve quality of sleep.

Key words: bruxism, clenching, portable electromyographic device, biofeedback, cognitive behavioral therapy

要旨

睡眠時ブラキシズム(Sleep Bruxism: SB)は睡眠障害の一環とされている。日中の咀嚼筋筋電図バイオフィードバック (Electromyogram Biofeedback : BF) 訓練が覚醒時ブラキシズム (Awake Bruxism: AB) および SB に抑制効果を与えることが報告されている。AB に対する BF 訓練が、夜間睡眠時の脳波に及ぼす影響を調べる目的で本実験を行った。成人男性 8 名(22.6±0.7 歳)を被験者として選択した。被験者は ICSD-2 の基準に従い SB を行っていることを診断した。また、実験開始前に夜間睡眠時ポリソムノグラフ(PSG)にて SB の状態を確認した。BF 群(n = 4)とコントロール (CO) 群(n = 4)にランダムに振り分けた。携帯型の装置を用いた筋電図(Electromyogram: EMG)記録および PSG はそれぞれ 5 時間の記録が残るようにし、これらの記録を連続する 3 週間の日中と夜間睡眠時に行った。BF 訓練は week 2 の連続した日中の 2 日間に閾値以上の筋活動を検出した際に電子音が鳴るよう設定した。week 1 と week 3 および CO 群では電子音は鳴らないようにした。両群とも睡眠中に脳波測定を行った。得られたデータから高速フーリエ変換し、睡眠中の脳波データから δ 波、 α 波の含有率を算出した。BF 群では 1 週目に比べ 2, 3 週目では δ 波の増加傾向と α 波の減少傾向が確認できた。

以上の結果から、BF 訓練により睡眠の質が改善されている可能性が示唆された。

牽引用語：ブラキシズム，クレンチング，携帯型筋電計，バイオフィードバック，
認知行動療法

緒言

近年，顎関節症の発症原因を含め顎口腔系への数々の弊害としてブラキシズムの関与が報告されている¹⁻⁴⁾。現在，ブラキシズムは，覚醒時ブラキシズム（Awake Bruxism：以下 AB）および睡眠時ブラキシズム（Sleep Bruxism：以下 SB）に大別されている⁵⁻⁷⁾。

これまでブラキシズムを抑制する目的で，スプリント療法⁸⁻¹⁰⁾，薬物療法^{11,12)}などが行われてきた。これらの方法には短期的な効果が報告されているものの，治療法として，有効性が十分に認められているとはいえないのが現状である。本分野では，日常生活環境下において筋電図（Electromyogram：以下 EMG）測定および筋電図バイオフィードバック（Biofeedback：以下 BF）訓練が可能となるよう開発された BF 装置¹³⁾を改良した装置¹⁴⁾を用い，認知行動療法の一つである，EMG

を用いた BF 訓練を，いくつか紹介し，一定のブラキシズム抑制効果を得て，発表を行ってきた¹⁵⁻¹⁸⁾．BF 訓練は AB に相当する日中のクレンジングを対象としており，診療室や実験室などの日常生活環境下で行い，AB に対する BF 訓練の有効性の報告¹⁵⁾や，AB に対する BF 訓練が，SB に対しても抑制効果があること¹⁸⁾を報告してきた．これらの研究結果から，BF 訓練の有効性とブラキシズム抑制に中枢系のバイオフィードバックループが関与していることが推察されている．

これまでブラキシズム発生機序の解明および生理学的現象把握のために様々なアプローチがなされてきた．なかでも，SB は Polysomnogram (以下 PSG)¹⁹⁻²⁴⁾を用いた研究により，筋活動と脳波の関連に特徴的な傾向が報告されており，SB 発生に伴い，一過性の覚醒や心拍数の上昇を認める^{20,25)}ことが，脳波等の解析結果に基

づく実験から明らかになっている。また、Smithら²⁶⁾は、ブラキシズムを習癖とする顎関節症患者を対象とした睡眠質問票検査において、「睡眠の質の低下」を示す主観的数値が基準値を超えている事を報告している。これらのことは、睡眠医学領域において、SBが睡眠障害に属する⁶⁾ことの証佐であると言える。以上のことから、BF訓練がSBの抑制に加え、睡眠の質に影響を及ぼす可能性が考えられることから、日中のBF訓練による夜間睡眠時の脳波の変化を解析した。

材 料 と 方 法

1 . 被 験 者

アメリカ睡眠医学会の睡眠障害国際分類⁶⁾を基にアンケートを作成し、大学生145名に配布した、回答を得られた122名の中から適格基準1として起床時の咀嚼筋痛ないし不快感を抱く、もしくはSBの自覚ないし過去に指摘を受けたことがある、という条件を満たした55名を選択した。選択した55名の臨床所見を確認し、適格基準2と照合した。適格基準2として、以下に示す項目に一つ以上該当することとした。①頬粘膜もしくは舌に圧痕を認める。②咬筋肥大を認める。③骨隆起を認める。④下顎前歯部切縁に、咬耗による象牙質の露出が線状を超えた範囲で認められる。以上の項目に一つでも該当することとした¹⁸⁾。

除外基準を以下に示す項目の一つでも該当する場合とした¹⁸⁾。①可撤性義歯を

装着している。②臼歯部の咬合支持域がない。③実験開始日からさかのぼり、過去1か月以内に抗炎症薬あるいは筋弛緩薬を服用した。④重度の歯周疾患に罹患している。

これらの条件を満たした21名に対し、実験の詳細を説明し、同意を得られた者に対しSB発現の確認と初夜効果の影響を排除するために、マルチテレメーターシステム（WEB-5000、日本光電工業株式会社、東京）を用いて、夜間のPSG測定を行った。Lavigneらの基準¹⁹⁾に従いSB発現を確認できた健康な成人男性8名（平均年齢 22.6 ± 0.7 歳）を最終的に本研究の被験者として選択した（Fig 1）。

なお、本研究は明海大学歯学部倫理委員会の承認を得ており（No.A1404）、実験の主旨を各被験者に説明し、同意書に署名を受けて実施した。

2. 実験スケジュール

被験者をBF群とコントロール(以下CO)群に振り分け、それぞれ3週連続で日中のEMG測定および夜間のPSG測定を行った(Fig 1)。BF群は1週目の測定ではベースラインデータを記録した。日中のEMG測定と夜間のPSG測定を行い、得られたベースラインデータから、Watanabeらの方法¹⁶⁾に準じて、BF訓練時に必要となる個人ごとの閾値を設定した。2週目の日中にBF訓練を2日間連続で行い、夜間睡眠時にはPSG測定のみを行った。3週目にはEMG測定を日中および夜間睡眠時に行った。BF訓練では閾値を超えた筋電図波形が認識された場合に、本体から音信号が鳴り、本人にその行動を認識させる聴覚バイオフィードバックを行った。CO群は、2週目の日中にBF訓練を行わず、EMG測定のみ実施した以外は、BF群と同様のスケジュールで測定を行った(Fig 1)。

3 . 記 録 装 置 お よ び 記 録 条 件

夜間の測定には，PSG装置としてマルチテレメーターシステム（WEB-5000，日本光電工業株式会社，東京）を用いた（Fig 2）. 脳波測定では国際10-20法の電極貼付位置に基づきC3-A2，O2-A1に電極を貼付し記録した（Fig 3）. 筋電図測定には，睡眠段階の判定とブラキシズムイベントの確認のために顎二腹筋，側頭筋を測定対象とした．さらに，心電図，眼電図，体動，呼吸，SpO₂の測定，音声録音およびビデオ撮影を行った．また，同時にBF装置による側頭筋EMG測定も行った．

日中のEMG測定およびBF訓練には，日常生活環境下で日中にEMG測定が可能となるように開発されたBF装置¹⁴⁾を使用し，昼食をはさむよう午前11時から午後5時までを測定時間とし，昼食中およびアーチファクトのEMGを除いても5時間

の E M G 記 録 が 確 保 で き る よ う 設 定 し た .

本 装 置 は 大 き さ が 縦 6 m m , 横 2 5 m m , 重
さ が 本 体 1 5 g , 電 極 6 g の 補 聴 器 の 形 状 を
し た 小 型 か つ 軽 量 な 耳 か け 式 (F i g 4) で あ
り , 外 観 に 触 れ に く い 設 計 で あ る (F i g . 5
a) . ま た , 連 続 9 時 間 の 記 録 が 可 能 で あ る
こ と か ら , 日 常 生 活 環 境 下 に お い て 行 動 範
囲 を 規 制 せ ず に 無 拘 束 で 長 時 間 の E M G 測
定 が 可 能 で あ る .

問 診 に て 確 認 し た 主 咀 嚼 側 の 側 頭 筋 前
部 筋 束 を 測 定 部 位 と し た . 被 験 者 に タ ッ ピ
ン グ を 行 わ せ , 筋 の 収 縮 が 触 知 可 能 な 可 及
的 前 縁 部 か つ 頭 髪 に 触 れ な い 部 位 を 電 極
貼 付 部 位 と し た . 直 径 5 m m の A g - A g C l 表
面 電 極 を 電 極 中 心 間 距 離 2 0 m m に 固 定 し
た 双 極 電 極 ユ ニ ッ ト を 測 定 部 位 に (F i g 5 b) ,
不 関 電 極 を 耳 朶 裏 面 に 貼 付 し , 双 極 誘 導 法
で E M G を 導 出 し た . 関 電 極 間 に は イ ン ピ
ー ダ ン ス 変 換 用 の I C チ ッ プ を 組 み 込 み ,
プ リ ア ン プ ま で の ケ ー ブ ル か ら 混 入 す る

ノイズの影響が抑えられるよう配慮されている²⁷⁾。電極の貼付に際しては、測定部を皮膚の接触抵抗を下げる目的で皮膚前処理剤（スキんピュア，日本光電工業株式会社，東京）にて処理後，アルコール綿で清拭し，表面電極に電極糊を塗布し，電極カラー部に両面テープを貼り測定部皮膚に固定した（Fig 6）。

EMG解析のキャリブレーションとして，記録開始前に最大咬合力にて3秒間の咬みしめを3回行わせ，その平均筋活動量を最大咬合力（100% maximum voluntary contraction；以下100% MVC）時の筋活動量とした。なお，筋疲労の影響を考慮し各施行間に30秒のインターバルを設けた。得られたEMGの測定結果を相対的な筋活動量（% MVC）で評価した（Fig 7）。

測定中の注意事項としては，洗顔など電極ユニットや装置本体に水がかかるような行為を避けるよう注意した以外は，普段

通りの生活を行うよう指示した。

4 . 閾 値 設 定

Watanabeらの方法¹⁶⁾に準じて、筋活動量(%MVC)と持続時間の組み合わせにより決定し、非機能運動時のみをイベントとして抽出できるように、最も特異度の高い閾値を被験者ごとに設定した。

例えば、機能運動時と非機能運動時の波形で、20%MVCで持続時間1秒組み合わせの閾値を設定すると、機能運動時の波形において20%MVCを越え持続時間1秒以上のイベントは検出されない(Fig 8 a)。一方、非機能運動時の波形では閾値以上のイベントが検出される(Fig 8 b)。筋活動量と持続時間の組み合わせの中で、得意度が100%となる組み合わせのうち、感度が最も高くなる閾値を最初の測定日の波形(ベースラインデータ)より求め、被験者ごとに設定した。

5. データ解析

脳波の解析では，入眠から5時間を対象とした．多用途生体情報解析プログラム（BIMUTAS II，キッセイコムテック株式会社，長野）を用い，高速フーリエ変換によりパワースペクトル解析を行い， δ 波（0.5～4 Hz）， θ 波（4～8 Hz）， α 波（8～13 Hz）， σ 波（12.75～15 Hz），low β 波（13～22 Hz），high β 波（22～32 Hz）それぞれの含有率を算出した． α 波および δ 波に関して1～3週の推移を検討した．

EMG解析では，専用のソフトウェア（ACEMG，ヴェガシステムズ社，東京）を用い日中の5時間のEMG記録を全波整流および実効値変換を行った．各被験者のベースラインデータから設定された閾値に基づいてイベント数を検出した（28・30）．

なお，BF群の2週目は，2日目のデータを対象とした（18）．

6 . ピ ッ ツ バ ー グ 睡 眠 質 問 票 お よ び

Manifest Anxiety Scale

B F 訓 練 に よ る 影 響 に つ い て 主 観 的 な 評 価 を 行 う た め に , 実 験 開 始 前 後 に 2 種 類 の 自 己 記 入 式 質 問 票 を 実 施 し た . 睡 眠 の 質 を 評 価 す る た め に ピ ッ ツ バ ー グ 睡 眠 質 問 票 (The Pittsburgh Sleep Quality Index : 以下 PSQI) を 使 用 し た . ま た , 心 理 状 態 の 確 認 と し て 不 安 傾 向 を 評 価 す る Manifest Anxiety Scale (以下 MAS) を 使 用 し た .

7 . 統 計 処 理

3 週 間 の 実 験 か ら 得 ら れ た S B イ ベ ン ト 数 , δ 波 , α 波 に 対 し て , Two-way-repeated measures ANOVA お よ び , post-hoc test と し て Tukey の HSD 検 定 を 行 っ た .

B F 訓 練 が 睡 眠 の 質 に 対 す る 被 験 者 本 人 の 主 観 的 評 価 の 影 響 を 検 討 す る た め , 質 問 票 の 結 果 に 対 し カ イ 二 乗 検 定 を 行 っ た .

結果

1. EMG 解析

個人ごとの SB のイベント数の推移とその平均を Fig 9, 10 に示す.

統計学的な有意差は認められないものの, BF 群 4 名全員が Week 2, 3 において SB イベント数は減少していた. 一方, CO 群においては 2 名が減少し, 2 名は増加と減少の混在する変化を示し, 一定の傾向は認められなかった.

2. 脳波解析

個人ごとの δ 波および α 波に対しベースラインデータとなる 1 週目のデータを 100% とし, 正規化した相対値の推移を Fig 11 ~ 14 に示す.

1) δ 波の推移

BF 群においては, 1 週目に比較し, 2 週目では δ 波の増加傾向が認められたものの, 統計学的な有意差は認められなかった. また, 1 週目に比較し, 3 週目では有

意な増加を認めた ($p < 0.05$). 2週目, 3週目の間に1週目と比較し値が減少した被験者はおらず全ての被験者においてBF訓練後に δ 波の増加を認めた (Fig 11).

CO群においては, いずれの週にも統計学的な有意差は認められず, BF群のように全被験者に共通する一定の傾向は認められなかった (Fig 12).

2) α 波の推移

BF群において1週目に比較し, 2週目, 3週目において有意な減少を認め ($p < 0.05$), 全ての被験者においてBF訓練後に α 波が減少した (Fig 13).

CO群においては, 値のばらつきがみられ, 一定の傾向は示さなかった (Fig 14).

3. PSQI

PSQIの評価マニュアルに従い睡眠障害ありと判定されるスコア5.5をカットオフ値に設定した. 個人ごとの値と両群の平均値を Fig 15, 16に示す. BF群では, 睡

眠障害群は実験開始前には3名であり，実験終了後には1名となった（Fig 15）．CO群では，睡眠障害群は実験開始前では1名であり，実験終了後では2名であった（Fig 16）．また，BF群では実験開始前と終了後においてスコアの減少傾向が認められた．

また，Fisherの直接確率計算の結果，BF群とCO群においてBF訓練前後で有意差は認められなかった．

4．MAS

全被験者から得られたMASの平均値をFig 17, 18に示す．評価マニュアルに従い不安傾向ありと判定するカットオフ値を23に設定した．全被験者のなかで実験開始前に不安傾向を示した者は8名中6名であり，実験終了時には4名へと減少した．全ての被験者の中で値が大きく増減した被験者はおらず，BF群（Fig 17），CO群（Fig 18）ともBF訓練前後で有意な変化は認められなかった．

考 察

1. 背景について

ブラキシズムは顎関節症発症の原因を含め、補綴装置、歯周組織、歯などの顎口腔系へ弊害をもたらす³¹⁾。ブラキシズムは夜間のグライディングに代表されるSBと、日中のクレンチングなどに代表されるABに大別されている^{6,7)}。近年、PSGを用いた研究により、睡眠中の筋活動と脳波の関連に特徴的な傾向があることが報告されている^{19, 22, 23, 26, 32-37)}。SBが微小覚醒に伴って発生するという報告^{20, 36)}がある。微小覚醒は睡眠中に3~10秒の脳波上でみられる覚醒状態であり、SB発現の数秒前に生じることが知られている。このようなことから、SBは睡眠関連疾患の睡眠関連運動異常症として分類されている⁶⁾。

これまで、ブラキシズムを抑制する目的でさまざまなアプローチがなされてきた⁸⁾。

10, 13-17, 38-40)。しかし，治療法としていまだに確立されているものはない。その理由の一つとして，ブラキシズム発症の原因が解明されていないことにあると考えられる。ストレスなどの社会関連因子^{41, 42)}や遺伝因子⁴³⁾など多様な因子がブラキシズム発症に関連しているとの報告があるが，いまだブラキシズム発症解明には至っていない。しかし，近年，NIRSやfMRIを用いた研究⁴⁴⁻⁴⁶⁾により中枢系の関与を支持する報告がなされている。本分野で行っているBF訓練は音刺激による聴覚フィードバックであり，中枢に対する学習効果を利用した認知行動療法の一つである。日中のABを対象としたBF訓練がABに対する有効性¹⁵⁾のみならず，SBの減少にも効果があること¹⁸⁾が分かっている。訓練1か月後におけるBF訓練効果が持続していること⁴⁷⁾から，中枢におけるバイオフィードバックループの関与が考えられて

いるものの、詳細は解明されていない。前述のように、SBは睡眠関連運動異常症であり、SBの減少は中枢系に何らかの影響を与えた結果生じた現象の一つと考えられた。即ちSBの減少は、睡眠状態の変化の結果であることが考えられる。そこで日中にBF訓練を行うことが、睡眠の質に変化を及ぼすのではないかという仮説のもと、脳波をパラメーターとした解析を本研究で実施した。

2. 実験条件について

1) 被験者について

被験者は一般の大学生であり、ブラキシズムにより生じうる歯科的ないしは睡眠医学的障害や弊害に関する専門知識をもたない集団である。したがって研究実施に際し、潜入観念はなかったと考えられる。本研究で対象となった被験者は、PSG測定によりSB発現を客観的に確認しており本

実験における被験者として適切であると考える。また、この最初の記録は解析対象から除外しており、初めてセンサーを装着することで結果に影響をきたす「初夜効果」を排除した。今回の被験者は重篤な筋症状を訴えていない集団である。どのような、また、どの程度の症状にBF訓練効果があるのかは不明である。今後、症状の程度とBF訓練効果の検証も検討課題の一つと考える。

2) スケジュールについて

今回の実験スケジュールはSatoら¹⁸⁾の報告に基づいて行った。本実験において、統計学的な有意差は認められなかったが、日中のBF訓練によりSBイベント数の減少傾向が確認できたことから、BF訓練を行う上でのスケジュールは妥当であったと思われる。

3) 測定部位について

測定部位はSBと脳波の関係性を研究し

ている先行研究^{36,37)}に基づき C3-A2, O2-A1 とした。

主咀嚼側の側頭筋前部筋束を対象に EMG 測定を行った。一般的には閉口筋の中で筋収縮力が一番大きい咬筋ないしは咬筋と側頭筋を対象とする報告が多い。側頭筋と咬筋は共に閉口筋であり、顎運動の際に協働的に作用していることが報告されている⁴⁸⁾。ブラキシズム時には、同期した筋活動を行うことから、側頭筋を単独で被験筋としても本研究の目的を検証するうえで大きな問題はないと考える。また、まばたき等でアーチファクトが混入することとも考えられるが、EMG 持続時間を 1 秒以上に設定したイベント解析を実施したことから、その影響は無視できるものと考えられる。本研究で使用した携帯型筋電計は外観に触れにくく、日常生活環境下での BF 訓練および EMG 測定を行えるという点が大きな特徴の一つである。測定時に電極

ユニットが外観に触れにくく，日常生活に支障をきたす懸念が少ないといった測定条件を考慮し，側頭筋前部筋束を選択したことは，妥当であったと思われる．

3．脳波および筋電図波形について

夜間に PSG を用いサンプリング周波数を 1000 Hz とし EMG 測定を行ったが，日中では 16 Hz のサンプリング周波数として BF 装置で測定を行った．条件を揃えるために SB イベント数の解析には BF 装置で測定した EMG 波形を対象とした．ブラキシズムは，*phasic*，*tonic*，*mixed* に分類されている¹⁹⁾．今回使用した BF 装置は固定メモリーが 512 kB と限られているため，サンプリングレートを 16 Hz に設定した，上記のサンプリングレートは，*tonic* 波形を記録するうえでは問題なく，*phasic* 波形に対しては必要最低限とされている⁴⁹⁾．今回使用した BF 装置は 1000 Hz のサンプリング

リングレートで記録した E M G 波形との比較において， p h a s i c 80.0%， t o n i c 94.1%， m i x e d 83.3%の検出能であることが，先行研究⁵⁰⁾で確認されている． B F 訓練においては非機能運動に対して確実に聴覚バイオフィードバックを行うことを目的としていることから，特異度の高い閾値設定とした．その結果，筋活動量が 10% M V C より低く，持続時間が 1 秒より短い閾値が必要となる被験者はいなかった．本装置においては，1 秒以上の持続時間を持つイベントを認識するには十分なサンプリングレートを有することから，今回記録した E M G 波形を解析に使用することは妥当であったと考えられる．一方， P S G を用いた測定ではよりサンプリングレートを高く設定して解析を行っていることから，測定システムの改良を含めて今後の検討課題としたい．

4 . 結 果 に つ い て

1) E M G 解 析 結 果 に つ い て

S a t o ら¹⁸⁾は , 日 中 の B F 訓 練 が , 夜 間
の ブ ラ キ シ ズ ム 抑 制 に 有 効 で あ る こ と を
報 告 し て い る . 今 回 行 っ た 実 験 に お い て も ,
B F 群 で は ベ ー ス ラ イ ン デ ー タ に 比 較 し て
S B イ ベ ン ト 数 が 減 少 し て い る こ と か ら ,
B F 訓 練 に よ っ て 同 様 の 結 果 が 認 め ら れ た .
ま た , B F 訓 練 の 1 週 間 後 に お い て も S B
イ ベ ン ト 数 減 少 傾 向 が 持 続 し て い た こ と
か ら , B F 訓 練 に よ る 学 習 効 果 が 認 め ら れ
た . こ の よ う な 学 習 効 果 に は , 中 枢 系 を 介
し た フ ィ ー ド バ ッ ク ル ー プ が 存 在 す る 可
能 性 が 考 え ら れ る⁵¹⁾ .

飯 塚 ら⁵²⁾は , A B イ ベ ン ト 数 と S B イ ベ
ン ト 数 に お い て 相 関 が 認 め ら れ る と 報 告
し て い る . 日 中 の B F 訓 練 に よ っ て A B イ
ベ ン ト 数 の 減 少 の み な ら ず S B イ ベ ン ト 数
の 減 少 を 招 く 行 動 変 容 が な さ れ た と 考 え
ら れ る が , 抑 制 系 の 詳 細 は 不 明 で あ り , 今

回の実験結果からも特定することはできない。

CO群では、実験期間を通してイベント数に変化せず、昼夜とも減少傾向を認めなかった。このことから、BF装置の装着自体がイベント数の減少を招いたこと、すなわちプラセボ効果の影響は否定できると考える。

今回、対象としたSBイベントは tonic である。SBは phasic を主体とする Rhythmic masticatory muscle activity (以下 RMMA)が多いとされている。RMMAの構成は1時間当たり phasic が 2.85 ± 0.31 回、tonic が 0.12 ± 0.04 回、mixed が 1.50 ± 0.18 回という報告³⁷⁾があることから、今後 phasic を対象とした分析も必要と考える。

BF訓練は認知行動療法の一手段であり、行動変容を促し、学習させることが目的である⁵³⁾。その点からは、今回の結果はBF

訓練の目的を達成しているといえる。現在、BF 訓練効果の長期予後について 1 か月後の学習効果の持続が確認できている⁴⁷⁾。しかし、被験者数も十分ではなく、訓練効果の持続期間について 1 か月以上の長期予後も含めたさらなる検討が必要である。

2) 脳波解析結果について

脳波波形解析には、高速フーリエ変換を行い、周波数解析としてパワースペクトル解析を行った。この解析方法は SB と脳波に関するいくつかの報告³⁵⁻³⁷⁾があり、睡眠中の脳波を周波数成分ごとに分析が可能であるとされている。α 波を睡眠の不安定性や浅い睡眠の指標とする報告³⁶⁾があることに加え、睡眠段階分類の国際基準⁵⁴⁾では睡眠段階の覚醒期で α 波が多くみられ、睡眠段階が深くなるにつれて α 波は減少していくと報告されている。このことから本実験結果での BF 訓練後の α 波の減少は睡眠の質の向上が示唆されると考え

られる。また， δ 波は睡眠段階のステージⅢから増加しステージⅣでは1エポック当たり50%以上の含有率であるとされている⁵⁴⁾。このことから，本実験で示された睡眠5時間分の δ 波の増加傾向はBF訓練により睡眠が深くなったことを意味するものと考えられる。今回，睡眠ステージ分類の解析を行っていないものの，ステージの深い睡眠時間が増加している可能性は十分に考えられる。一方，CO群では， α 波および δ 波に一定の傾向は認められなかったことから，BF装置の装着自体が脳波に影響を与えたのではないことが確認できた。

3) PSQIについて

PSQIは睡眠に関する質問票であり，主観的に睡眠の質が悪いと感じるほど高得点となる。PSQIの日本版⁵⁵⁾では，カットオフ値は5.5であり，これを超える場合は睡眠障害があるとされる。PSQIは過去1

か月間の睡眠状態に対し18項目の質問からなる自己記入式の質問票であり、睡眠の質、睡眠時間など7つの要素からなっている⁵⁶⁾。睡眠の質を調べる方法としては、脳波等の生理学的パラメーターを用いる以外に、主観的評価法として自己記入式質問紙法を用いられることが多い。なかでもPSQIは最も使用される質問票である⁵⁷⁾。BF群において実験開始前に比べ実験後ではカットオフ値を超えた被験者数とスコアの減少が確認できたことから、客観的にも睡眠の質が向上していることが示唆された。実験開始時でのBF群はCO群に比べ、PSQIが若干高いスコアを示していた(Fig 15, 16)。統計学的有意差は認められないものの、ブラキシズムと関連の深い顎関節症患者の睡眠の質の低下なども報告されている⁵⁸⁾ことから、単にランダムな群分けをするのではなく、PSQIの結果を考慮した群分けが必要であったかもしれ

ない。なお、BF群のなかでスコアの増加傾向を示した被験者が認められたが、その原因は今回の結果からは明らかにできなかった。

4) MAS について

MASは精神的、身体的な徴候として表出される顕在性不安の測定尺度として用いられ、結果の信頼性を吟味するL尺度が含まれる。今回の結果においてL尺度、無回答により記入に対する妥当性なしと判断された被験者はいなかった。実験開始前と実験開始後で値にわずかな減少が確認されたものの、いずれの被験者においても値が大きく変化した被験者はいなかったことから、本実験が被験者の不安傾向には影響していないと考えられる。

日中のBF訓練によるブラキシズムイベントの減少により、顎口腔系に対する弊害の軽減、顎関節症の予防および改善のみな

らず睡眠の質が改善する可能性が確認できたことから，BF訓練の臨床応用への期待が高まったと考える．

結 論

日中のBF訓練が夜間睡眠時の脳波に及ぼす影響を明らかにする目的で研究を行い以下の結論を得た。

1. BF群において1週目に比較して、2週目、3週目において α 波の有意な減少を認めた。また、統計学的な有意差は認められなかったが、1週目に比較し、2週目では δ 波の増加傾向が認められた。
2. BF群においてSBイベント数の減少傾向が認められた。
3. BF群でPSQIにより睡眠障害と判断されたのはBF訓練前には3名であったが、BF訓練後には1名と減少した。
4. MASでは、BF訓練前後で特徴的な変化は認められなかった。

以上のことから日中のBF訓練はブラキシズム抑制のみならず、睡眠の質の改善にも有効な治療法となる可能性が示された。

謝 辞

稿を終えるにあたり，終始ご指導くださいました理工系歯材応用研究群歯科補綴学Ⅱ 藤澤政紀教授に厚く御礼申し上げます．

また，論文の審査にあたり，ご指導，御校閲を賜りました機能系正常機能研究群口腔生理学 村本和世教授，機能系正常機能研究群歯科補綴学 大川周治教授，理工系歯科器材研究群歯科放射線学 奥村泰彦教授に深く感謝申し上げます．

さらに本研究にあたり，ご協力いただきました猪野照夫准教授，渡邊明助教，佐藤雅介助教はじめ機能保存回復学講座歯科補綴学分野の諸先生に厚く感謝致します．

本研究の一部は科学研究費基盤研究B(23390447, 15H05031)および平成27年度宮田研究奨励金Eの助成を受けて行った．

引用文献

- 1) Seligman DA and Pullinger AG: Analysis of occlusal variables, dental attrition, and age for distinguishing healthy controls from female patients with intracapsular temporomandibular disorders. *J Prosthet Dent* **83**, 76-82, 2000
- 2) Van Selms MK, Lobbezoo F, Visscher CM and Naeije M: Myofascial temporomandibular disorder pain, parafunctions and psychological stress. *J Oral Rehabil* **35**, 45-52, 2008
- 3) Michelotti A, Cioffi I, Festa P, Scala G, Farella M: Oral parafunctions as risk factors for diagnostic TMD subgroups. *J Oral Rehabil* **37**, 157-62, 2010
- 4) 今村博高, 金村清孝, 田邊憲昌, 武部純, 藤澤政紀, 石橋寛二: 歯学部学生におけるブラキシズムの自覚と顎機能障害の調査. *日補綴会誌* **3**, 353-359, 2011
- 5) Kato T, Dal-Fabbro C and Lavigne GJ: Current knowledge on awake and sleep bruxism: overview. *Alpha Omegan* **96**, 24-32, 2003
- 6) Walters A: Sleep related bruxism. In: *The international classification of sleep disorders*. Hauri JP, eds, American academy of sleep medicine, America, pp189-192, 2005
- 7) Lobbezoo F, Ahlberg J, Glaros G, Kato T, Koyano K, Lavigne GJ, De Leeuw R, Manfredini D, Svensson P and Winocur E: Bruxism defined and graded: an international consensus. *J Oral Rehabil* **40**, 2-4, 2013
- 8) Clark GT, Beemsterboer PL and Rugh, JD: Nocturnal masseter muscle activity and the symptoms of masticatory dysfunction. *J Oral Rehabil* **8**, 279-286, 1981
- 9) Dao TT and Lavigne GJ: Oral splints: the crutches for temporomandibular disorders and bruxism? *Crit Rev Oral Biol Med* **9**, 345-361, 1998
- 10) Huynh N, Manzini C, Rompre PH, Lavigne GL: Weighing the potential effectiveness of various treatments for sleep bruxism. *J Can Dent Assoc*, **73**, 727-730, 2007

- 11) Saletu A, Parapatics S, Saletu B, Anderer P, Prause W, Putz H, Adelbauer J and Saletu-Zyhlarz GM: On the pharmacotherapy of sleep bruxism: placebo-controlled polysomnographic and psychometric studies with clonazepam. *Neuropsychobiology* 51, 214-225, 2005
- 12) Huynh N, Lavigne GJ, Lanfranchi PA, Montplaisir JY and de Champlain J: The effect of 2 sympatholytic medications--propranolol and clonidine--on sleep bruxism: experimental randomized controlled studies. *Sleep* 29, 307-316, 2006
- 13) 小川有, 藤澤政紀, 石橋寛二: 携帯型 EMG バイオフィードバック装置の開発. *日歯心身* 16, 31-35, 2001
- 14) 石橋寛二, 藤澤政紀: バイオフィードバック. よくわかる顎口腔機能学, 103-105, 日本顎口腔機能学会編, 医歯薬出版, 東京, 2005
- 15) Watanabe A, Kanemura K, Tanabe N and Fujisawa M: Effect of electromyogram biofeedback on daytime clenching behavior in subjects with masticatory muscle pain. *J Prosthodont Res* 55, 75-81, 2011
- 16) Watanabe A, Fujisawa M, Iizuka T, Sato M, Iwase N, Kanemura K, Tanabe N and Ishibashi K: Determination of applicable multiple thresholds of EMG biofeedback training for daytime clenching behavior. *J Meikai Dent Med* 41, 1-5, 2012
- 17) Fujisawa M, Kanemura K, Tanabe N, Gohdo Y, Watanabe A, Iizuka T, Sato M and Ishibashi K: Determination of daytime clenching events in subjects with and without self-reported clenching. *J Oral Rehabil* 40, 731-736, 2013
- 18) Sato M, Iizuka T, Watanabe A, Iwase N, Otsuka H, Terada N and Fujisawa M: Electromyogram biofeedback training for daytime clenching and its effect on sleep bruxism. *J Oral Rehabil* 42, 83-89, 2015
- 19) Lavigne GJ, Rompré PH, Montplaisir JY: Sleep bruxism: validity of clinical research diagnostic criteria in a controlled polysomnographic study. *J Dent Res* 75, 546-552, 1996

- 20) Kato T, Rompré P, Montplaisir JY, Sessle BJ and Lavigne GJ: Sleep bruxism: an oromotor activity secondary to micro-arousal. *J Dent Res* 80, 1940-1944, 2001
- 21) Camparis CM, Formigoni G, Teixeira MJ, Bittencourt LR, Tufik S and de Siqueira JT: Sleep bruxism and temporomandibular disorder: Clinical and polysomnographic evaluation. *Arch Oral Biol* 51, 721-728, 2006
- 22) Rossetti LM, Pereira de Araujo Cdos R, Rossetti PH, Conti PC: Association between rhythmic masticatory muscle activity during sleep and masticatory myofascial pain: a polysomnographic study. *J Orofac Pain* 22, 190-200, 2008
- 23) Doering S, Boeckmann JA, Hugger S and Young P: Ambulatory polysomnography for the assessment of sleep bruxism. *J Oral Rehabil* 35, 572-576, 2008
- 24) Mizumori T, Inano S, Sumiya M, Kobayashi Y, Watamoto T and Yatani H: Ambulatory bruxism recording system with sleep-stage analyzing function. *J Prosthodont Res* 53, 150-154, 2009
- 25) Bader GG, Kampe T, Tagdae T, Karlsson S and Blomqvist M: Descriptive physiological data on a sleep bruxism population. *Sleep* 20, 982-990, 1997
- 26) Smith MT, Wickwire EM, Grace EG, Edwards RR, Buenaver LF, Peterson S, Klick B and Haythornthwaite JA: Sleep disorders and their association with laboratory pain sensitivity in temporomandibular joint disorder. *Sleep* 32, 779-90, 2009
- 27) Fujisawa M, Uchida K, Yamada Y and Ishibashi K: Surface electromyographic electrode pair with built-in buffer-amplifiers. *J Prosthet Dent* 63, 350-352, 1990
- 28) 小川有 : クレンチングに対する筋電図バイオフィードバックの閾値設定に関する検討. 補綴誌, 47, 316-325, 2003
- 29) Gohdo Y and Fujisawa M: Determination of electromyogram biofeedback threshold for patients with clenching behavior. *Prosthodont Res Pract* 3 46-54, 2004
- 30) Ogawa Y and Fujisawa M: Electromyogram biofeedback threshold determination for clenching behavior. *Dentistry in Japan* 41, 54-56, 2005

- 31) Simon EP and Lewis DM: Medical hypnosis for temporomandibular disorders: treatment efficacy and medical utilization outcome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 90, 54-63, 2000
- 32) Kato T, Montplaisir JY, Guitard F, Sessle BJ, Lund JP and Lavigne GJ: Evidence that experimentally induced sleep bruxism is a consequence of transient arousal. *J Dent Res* 82, 284-288, 2003
- 33) Miyawaki S, Lavigne GJ, Pierre M, Guitard F, Montplaisir JY and Kato T: Association between sleep bruxism, swallowing-related laryngeal movement, and sleep positions. *Sleep* 26, 461-465, 2003
- 34) Lavigne GJ, Huynh N, Kato T, Okura K, Adachi K, Yao D and Sessle B: Genesis of sleep bruxism: motor and autonomic-cardiac interactions. *Arch Oral Biol* 52, 381-384, 2007
- 35) Carra MC, Rompré PH, Kato T, Parrino L, Terzano MG, Lavigne GJ and Macaluso GM: Sleep bruxism and sleep arousal: an experimental challenge to assess the role of cyclic alternating pattern. *J Oral Rehabil* 38, 635-642, 2011
- 36) Lavigne GJ, Okura K, Abe S, Colombo R, Huynh N, Montplaisir JY, Marchand S and Lanfranchi PA: Gender specificity of the slow wave sleep lost in chronic widespread musculoskeletal pain. *Sleep Med*, 12, 179-185, 2011
- 37) Abe S, Carra MC, Huynh NT, Rompré PH and Lavigne GJ: Females with sleep bruxism show lower theta and alpha electroencephalographic activity irrespective of transient morning masticatory muscle pain. *J Orofac Pain*, 27, 123-134, 2013
- 38) Winocur E, Gavish A, Voikovitch M, Emodi-Perlman A and Eli I: Drugs and bruxism: a critical review. *J Orofac Pain* 17, 99-111, 2003
- 39) Huynh N, Kato T, Rompré PH, Okura K, Saber M, Lanfranchi PA, Montplaisir JY and Lavigne GJ: Sleep bruxism is associated to micro-arousals and an increase in cardiac sympathetic activity. *J Sleep Res* 15, 339-346, 2006

- 40) 馬場一美: 睡眠時ブラキシズム合理的な診断と歯科的対処法. *Dental Med Res* 28 , 187-194, 2008
- 41) Van der Meulen MJ, Lobbezoo F, Aartman IH and Naeije M: Ethnic background as a factor in temporomandibular disorder complaints. *J Orofac Pain* 23, 38-46, 2009
- 42) Nixdorf DR, John MT, Wall MM, Friction JR and Schiffman EL: Psychometric properties of the modified Symptom Severity Index (SSI). *J Oral Rehabil* 37, 11-20, 2010
- 43) Hublin C, Kaprio J, Partinen M and Koskenvuo M: Sleep bruxism based on self-report in a nationwide twin cohort. *J Sleep Res* 7, 61-67, 1998
- 44) Wong D, Dziedzic M, Talavage TM, Romito LM and Byrd KE: Motor control of jaw movements: An fMRI study of parafunctional clench and grind behavior. *Brain Res* 6, 206-217, 2011
- 45) Iida T, Kato M, Komiyama O, Suzuki H, Asano T, Kuroki T, Kaneda T, Svensson P and Kawara M: Comparison of cerebral activity during teeth clenching and fist clenching: a functional magnetic resonance imaging study. *Eur J Oral Sci.* 118, 635-641, 2010
- 46) Iida T, Sakayanagi M, Svensson P, Komiyama O, Hirayama T, Kaneda T, Sakatani K and Kawara M: Influence of periodontal afferent inputs for human cerebral blood oxygenation during jaw movements. *Exp Brain Res* 216, 375-384, 2012
- 47) 渡邊明, 木村英敏, 佐藤雅介, 大塚英稔, 斉藤小夏, 菅原絹枝, 橋戸広大, 岩瀬直樹, 猪野照夫, 藤澤政紀: 咀嚼筋筋電図バイオフィードバック訓練による日中クレンチング抑制効果の持続性に関する検討. *明海歯学* 44, S1, 2015
- 48) Fujisawa M, Kawada T and Ishibashi K: A computer-aided analyzing system to examine the masticatory muscle EMG during mastication. *Front Med Biol Eng.* 3, 199-203, 1991
- 49) Gallo LM, Gross SSS, Palla S: Nocturnal masseter EMG activity of healthy subjects in a natural environment. *J Dent Res* 78, 1436-1444, 1999

- 50) 佐藤雅介, 大塚英稔, 飯塚知明, 渡邊明, 岩瀬直樹, 猪野照夫, 窪田佳寛, 寺田信幸, 斉藤小夏, 菅原絹枝, 藤澤政紀: 筋電計サンプリングレートの違いがブラキシズムイベントの検出能に及ぶ影響. 顎機能誌 21, 28-33, 2014
- 51) Obrist PA, Webb RA, Sutterer JR, Howard JL: The cardiac-somatic relationship: some reformulations. *Psychophysiology* 6, 569-587, 1970
- 52) 飯塚知明, 佐藤雅介, 渡邊明, 岩瀬直樹, 猪野照夫, 遠藤聡, 野露浩正, 川邊崇史, 藤澤政紀: 日中のクレンチングと夜間睡眠時ブラキシズムの関係. *明海歯学* 41, 119-127, 2012
- 53) 藤澤政紀, 渡邊明: バイオフィードバックトレーニングによるブラキシズムのコントロール. *日歯医師会誌* 65, 6-12, 2013
- 54) Rechtschaffen A and Kales A: A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. Brain Information Service/Brain Research Institute, University of California, 1968
- 55) Doi Y, Minowa M, Uchiyama M, Okawa M, Kim K, Shibui K and Kamei Y: Psychometric assessment of subjective sleep quality using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. *Psychiatry Res* 97, 165-172, 2000
- 56) Daniel JB, Charles FR, Timothy HM, Susan RB and David JK: The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* 28, 193-213, 1988
- 57) Danielle MV, Rafael C, Daniel B, Paulo AC: Sleep quality in patients with temporomandibular disorder: a systematic review. *Sleep Sci* 6 120-124, 2013
- 58) Schmitter M, Kares-Vrincianu A, Kares H, Bermejo JL, Schindler HJ: Sleep-associated aspects of myofascial pain in the orofacial area among Temporomandibular Disorder patients and controls. *Sleep Med* 16, 1056-1061, 2015

Figure Legends

Fig 1: Experimental procedure including subject recruiting, group dividing, recording protocol.

Fig 2: Example of Polysomnographic recording

Fig 3: Electrode positions for EEG recording

Fig 4: Portable EMG recording device and electrode-unit

Fig 5: Portable EMG device setting

a: The device being covered over by his hair

b: Position of the device and electrode-unit

Fig 6: EMG surface electrode-unit with double sided adhesive tapes

Fig 7: EMG calibration for brief maximum voluntary contraction as 100% MVC

Fig 8: Bruxism-detecting procedure

a: All data were recognized as a functional event under the 20%MVC -1s threshold.

b: A parafunctional event was detected under the 20%MVC -1s threshold.

Fig 9: Changes in number of SB EMG burst event of BF group over 3 weeks.

Fig 10: Changes in number of SB EMG burst event of CO group over 3 weeks.

Fig 11: Changes in delta component of EEG power spectra of BF group over 3 weeks.

Fig 12: Changes in delta component of EEG power spectra of CO group over 3 weeks.

Fig 13: Changes in alpha component of EEG power spectra of BF group over 3 weeks.

Fig 14: Changes in alpha component of EEG power spectra of CO group over 3 weeks.

Fig 15: PSQI scores before and after EMG-BF in BF group

Fig 16: PSQI scores before and after EMG-BF in CO group

Fig 17: MAS scores before and after EMG-BF in BF group

Fig 18: MAS scores before and after EMG-BF in CO group

Fig 1

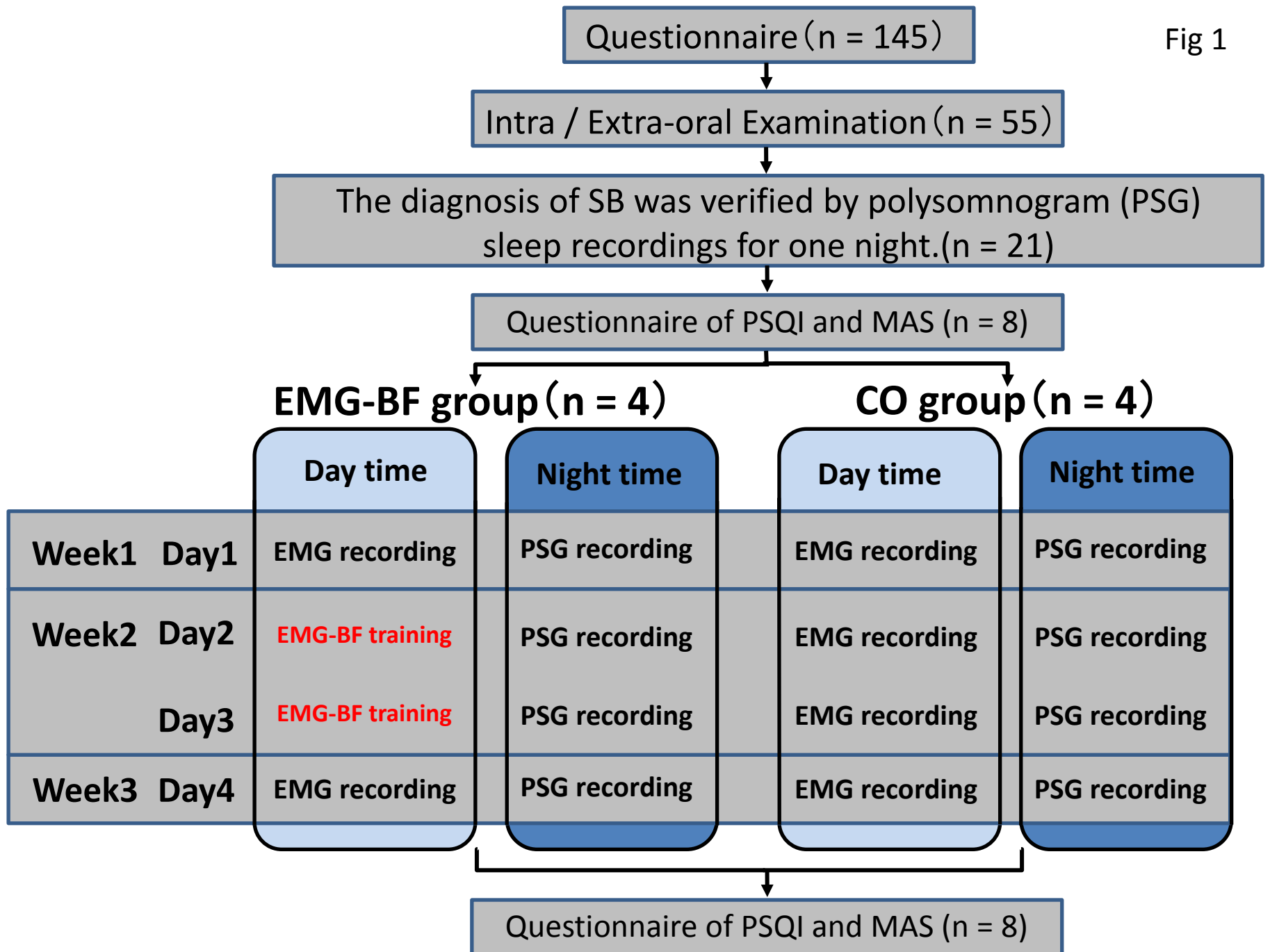


Fig 2

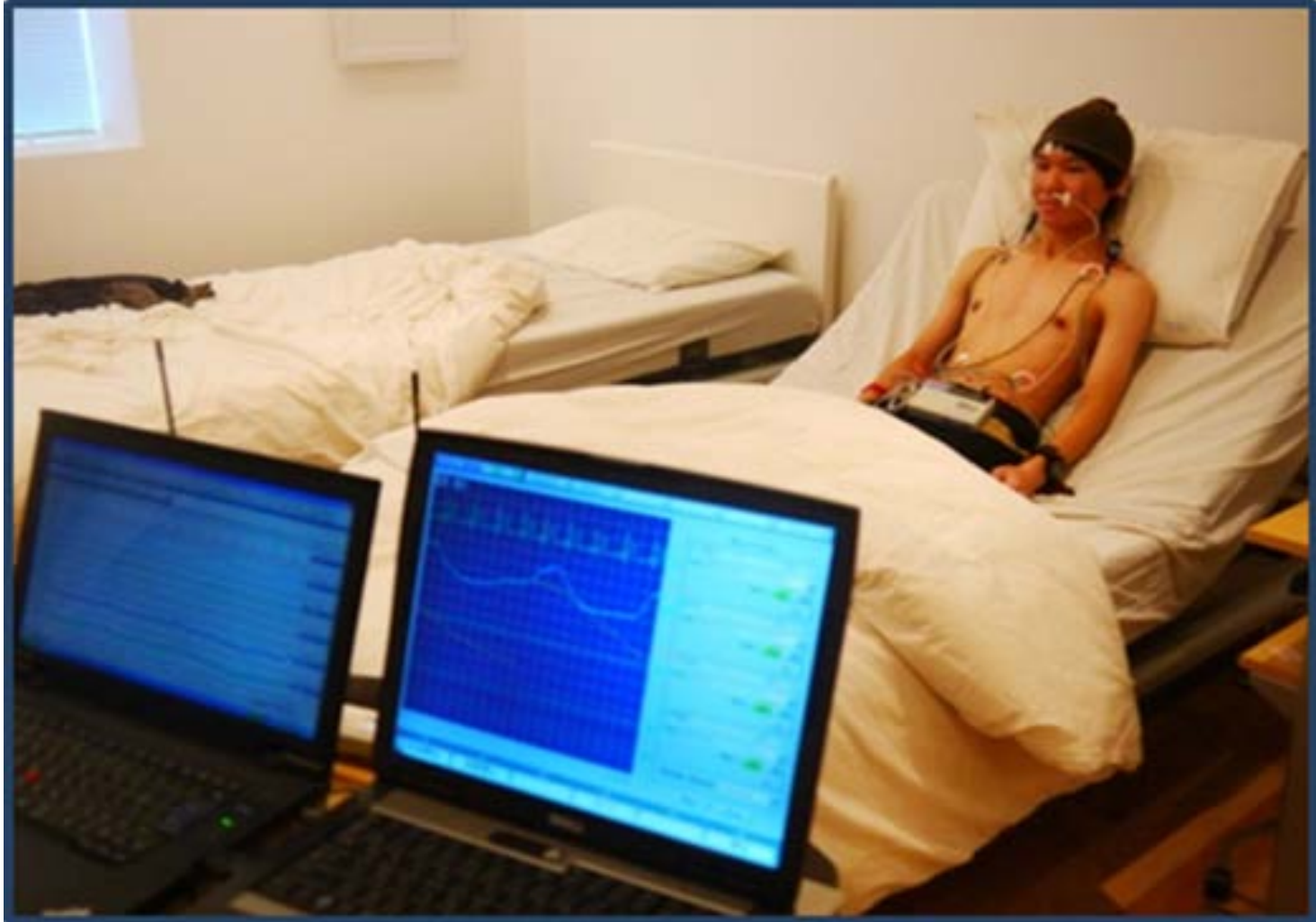


Fig 3

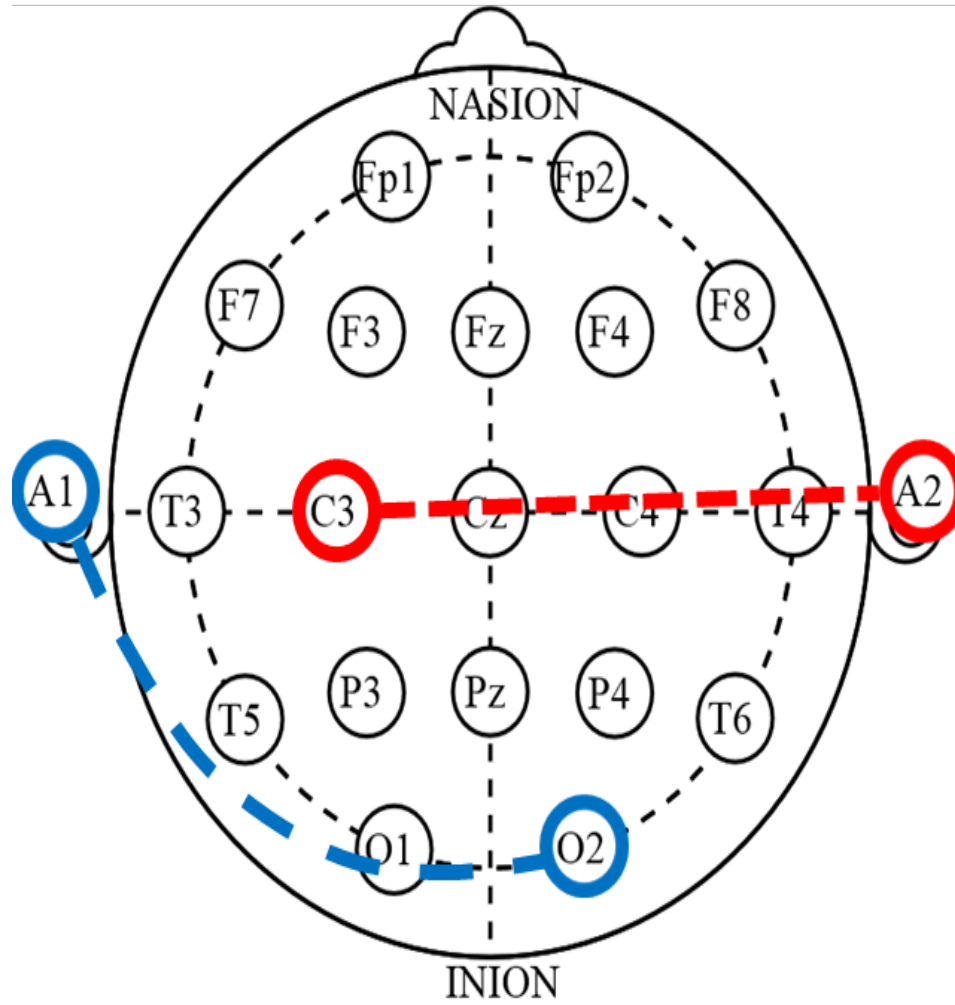
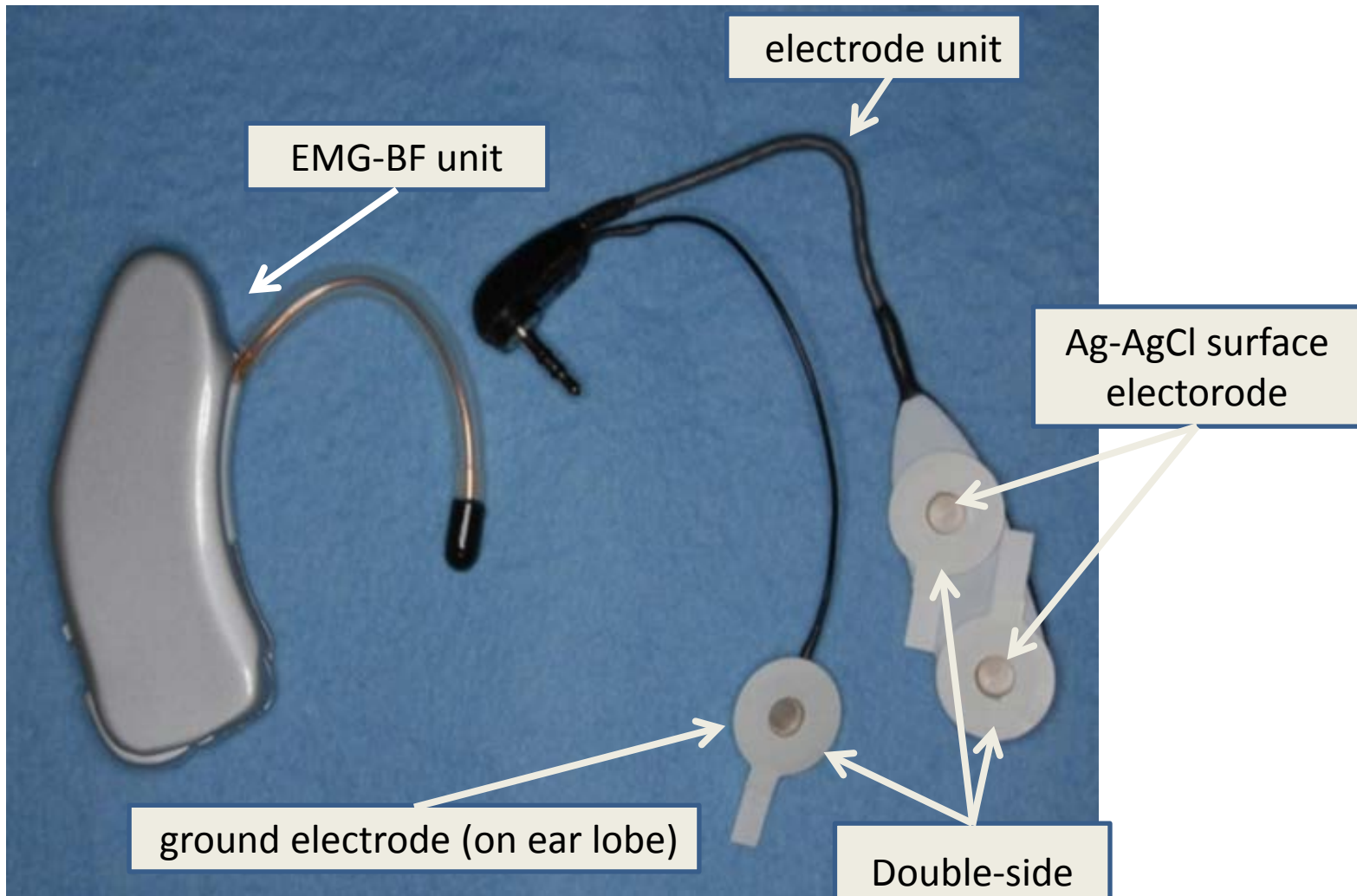


Fig 4



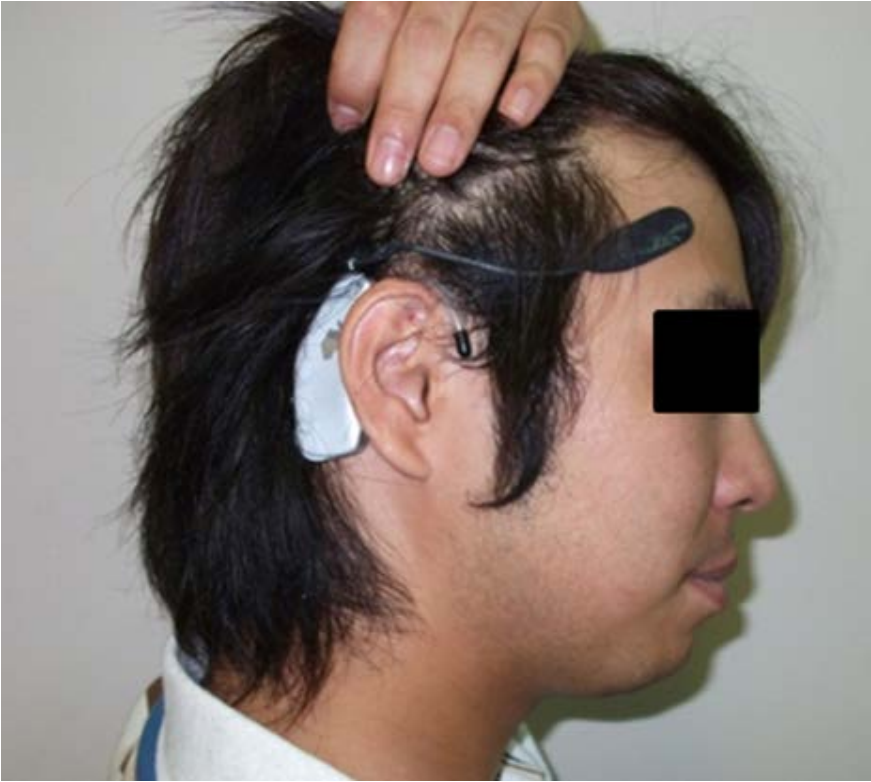
Weight EMG – BF unit : 15 g (including battery)
electrode unit : 6 g
total : 21 g

Double-side
adhesive tape

Fig 5



a



b

Fig 6

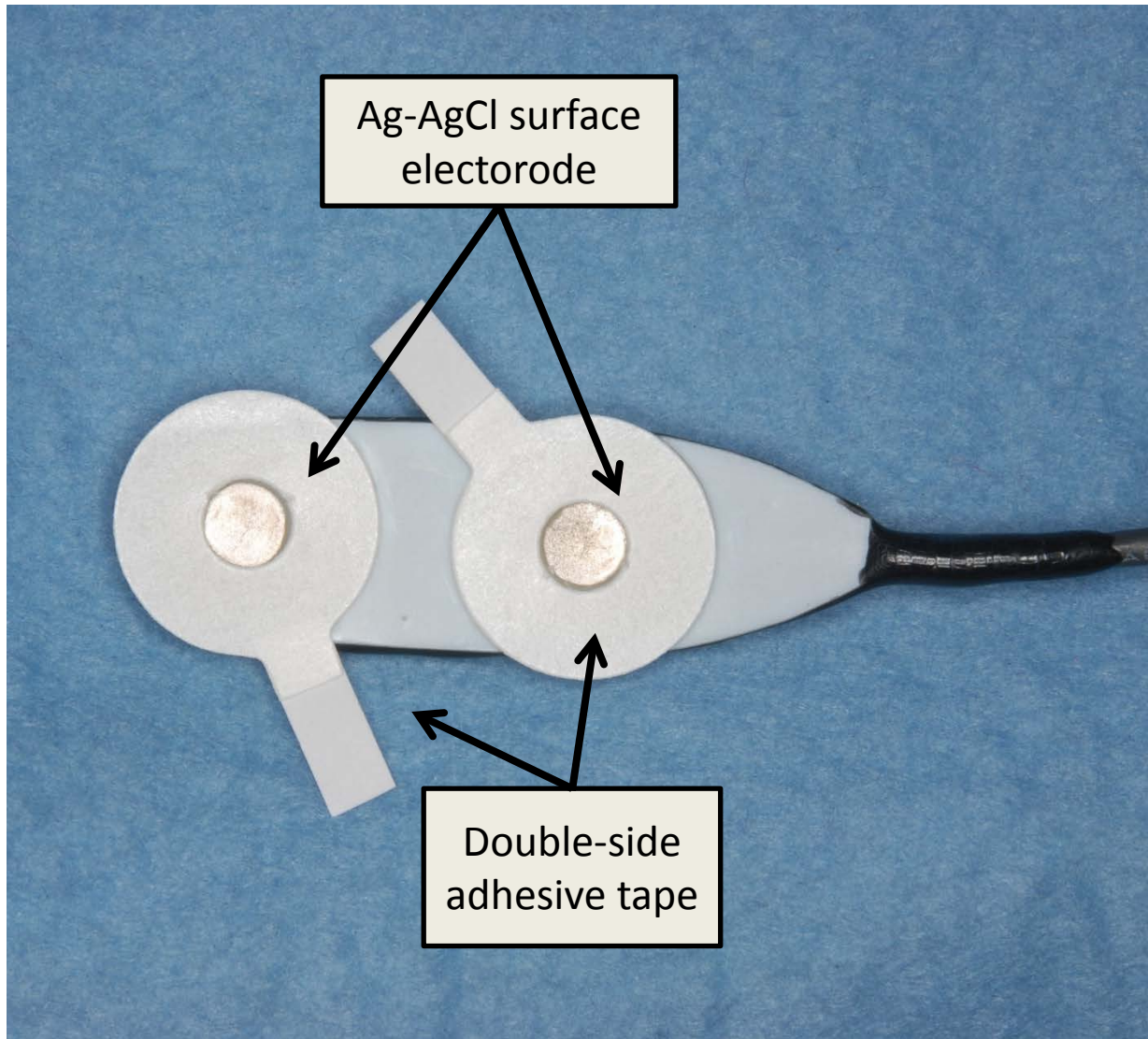
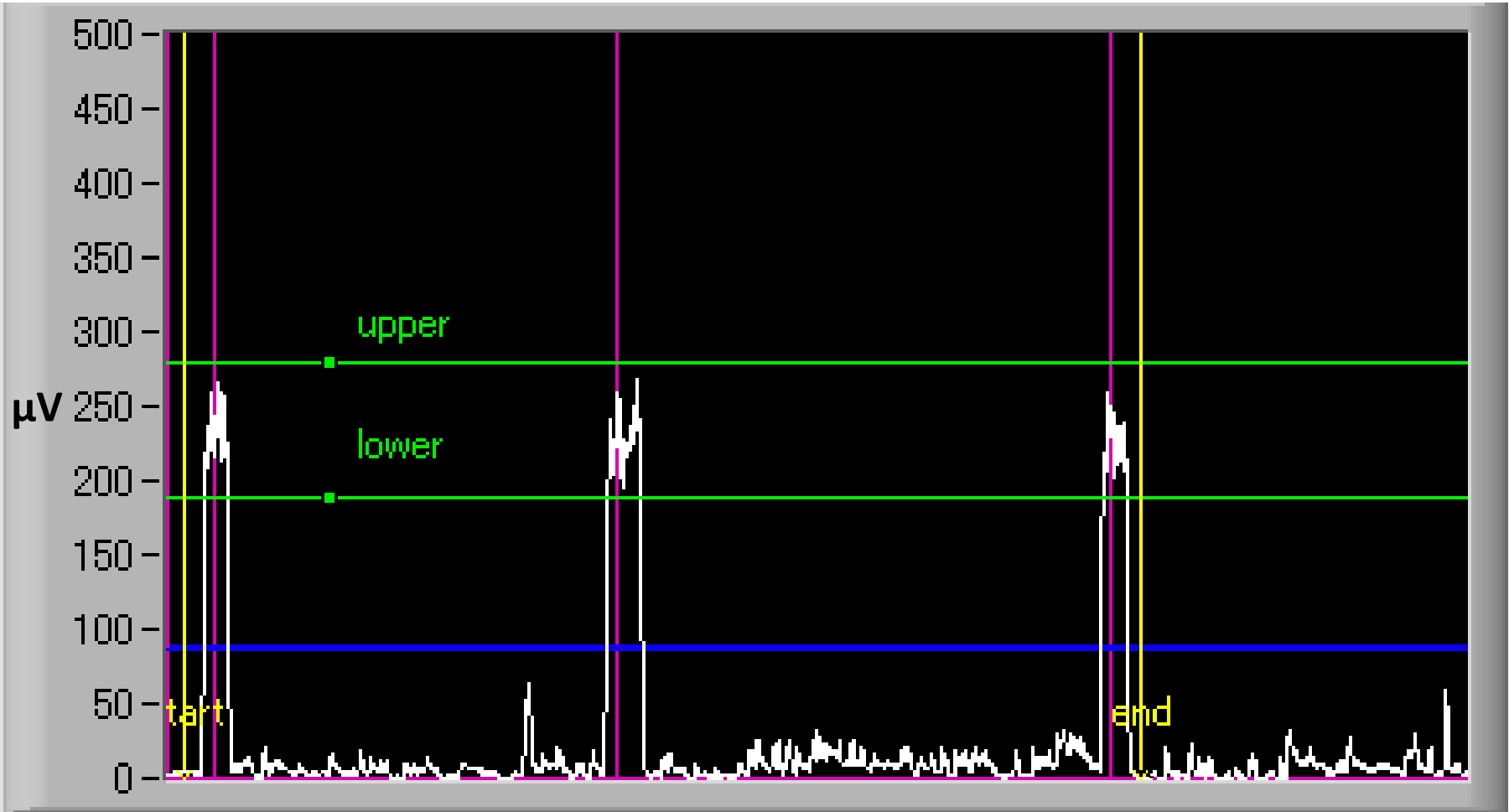
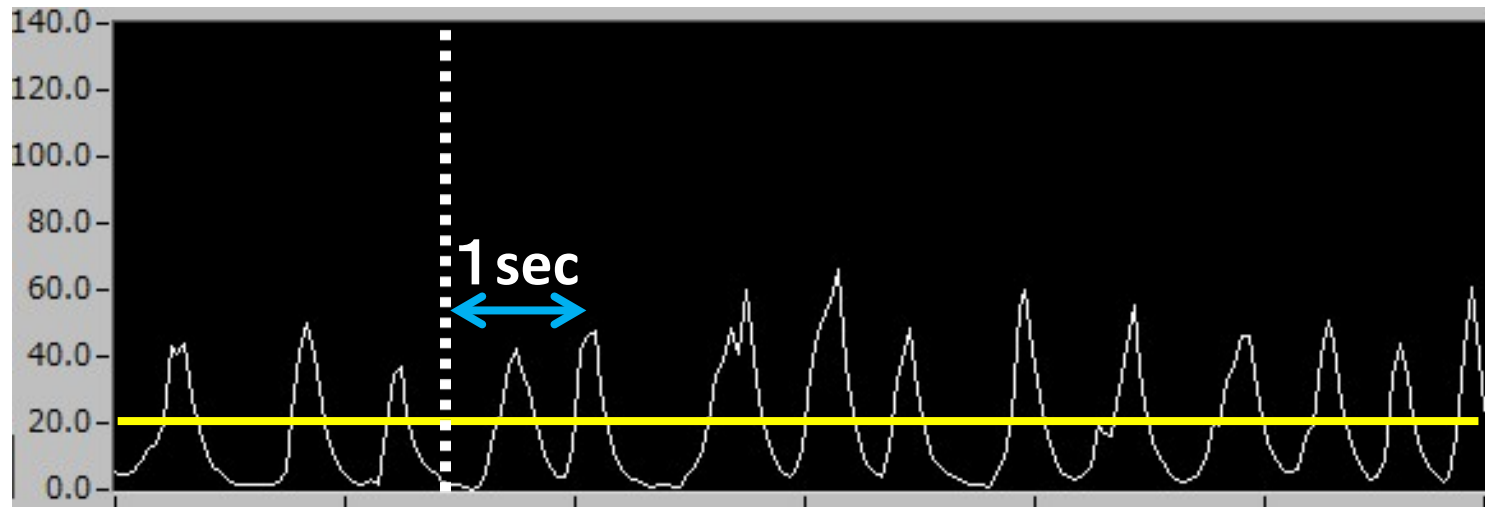


Fig 7



a. Functional events



b. A parafunctional event

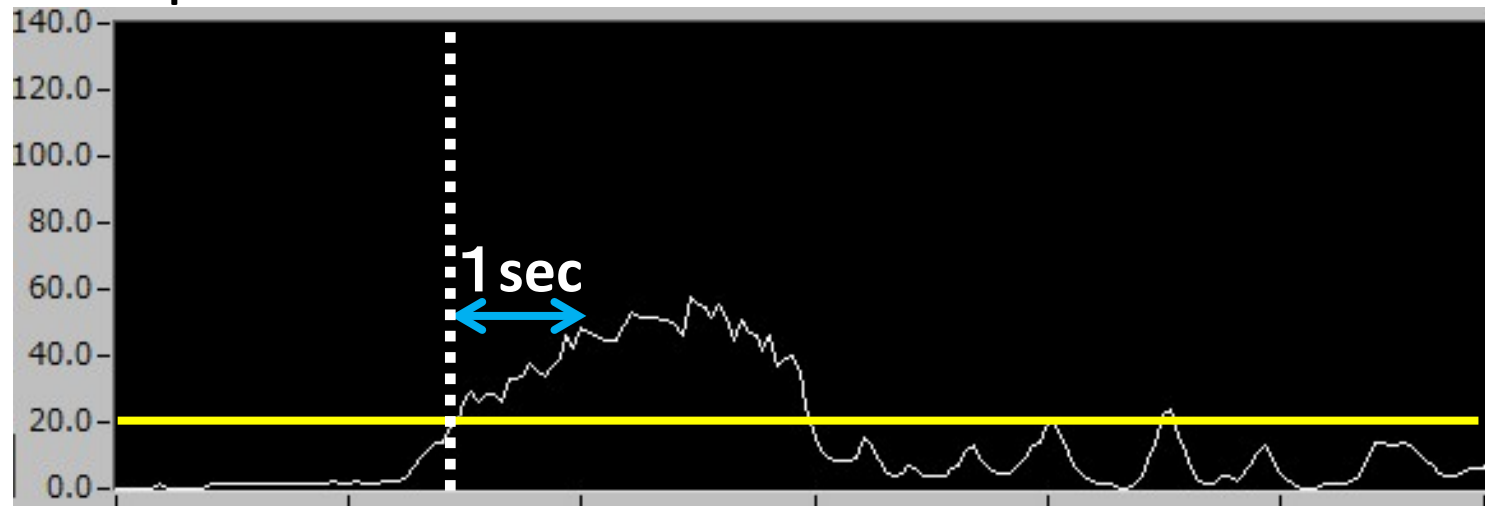


Fig 9

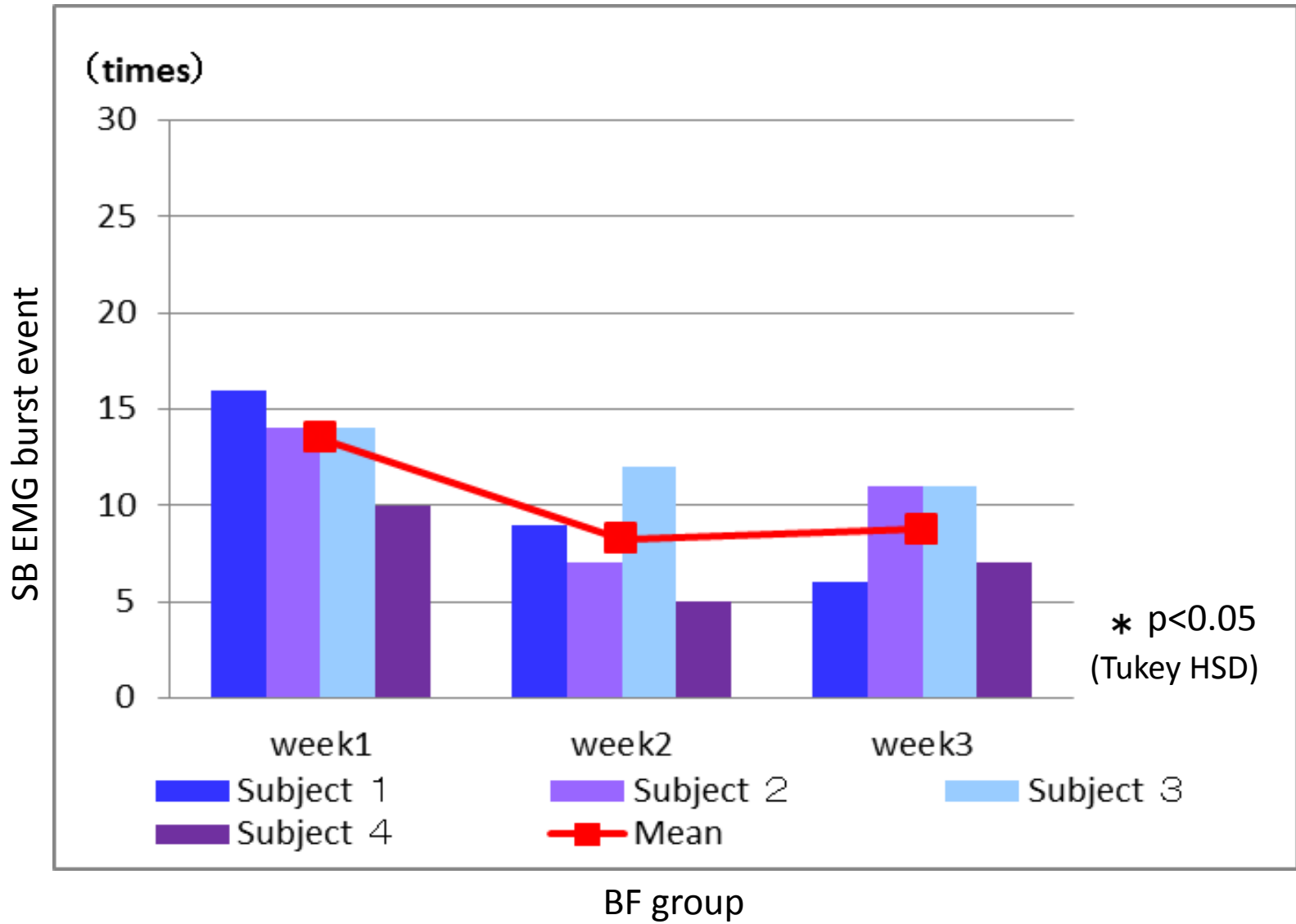


Fig 10

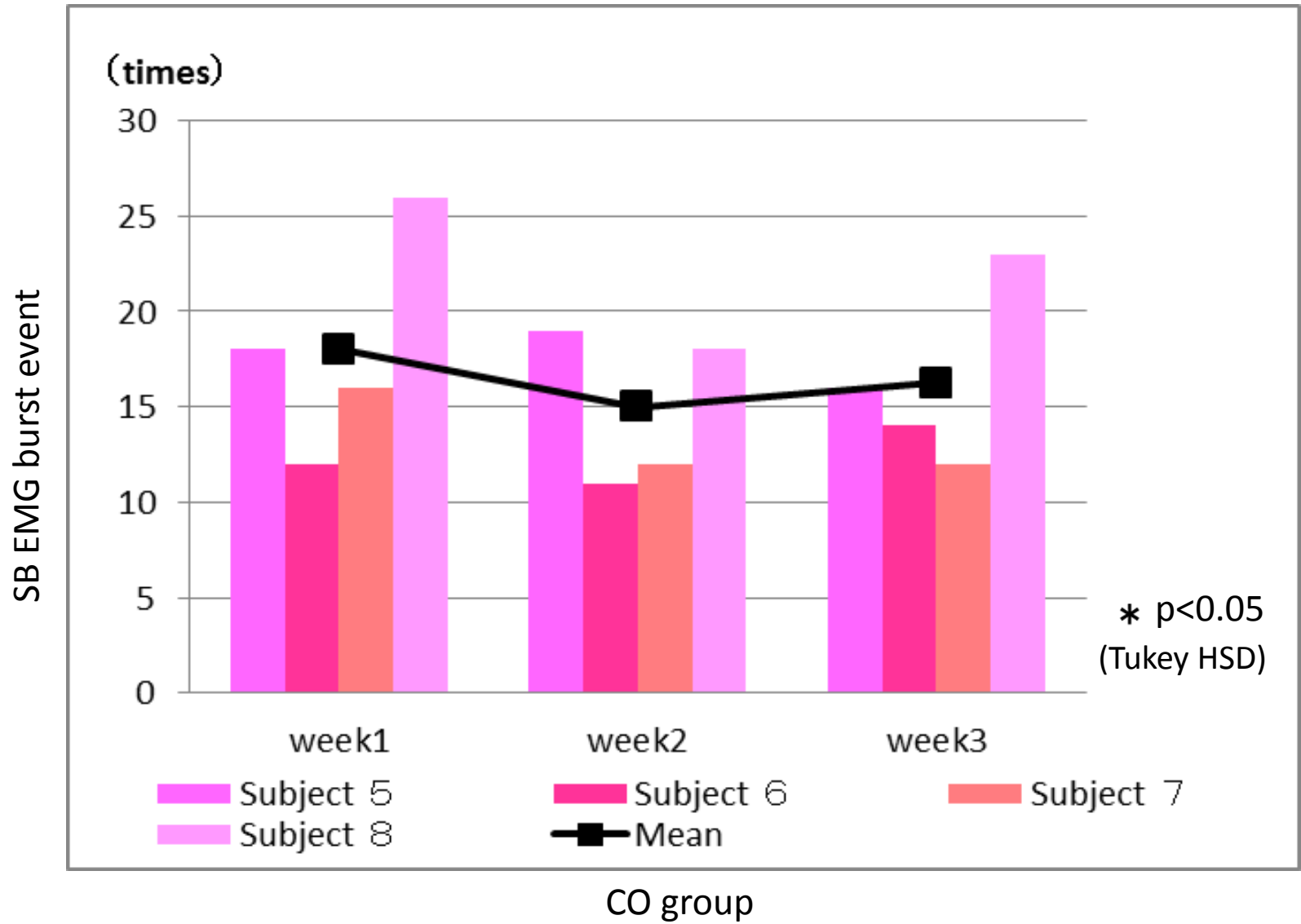


Fig 11

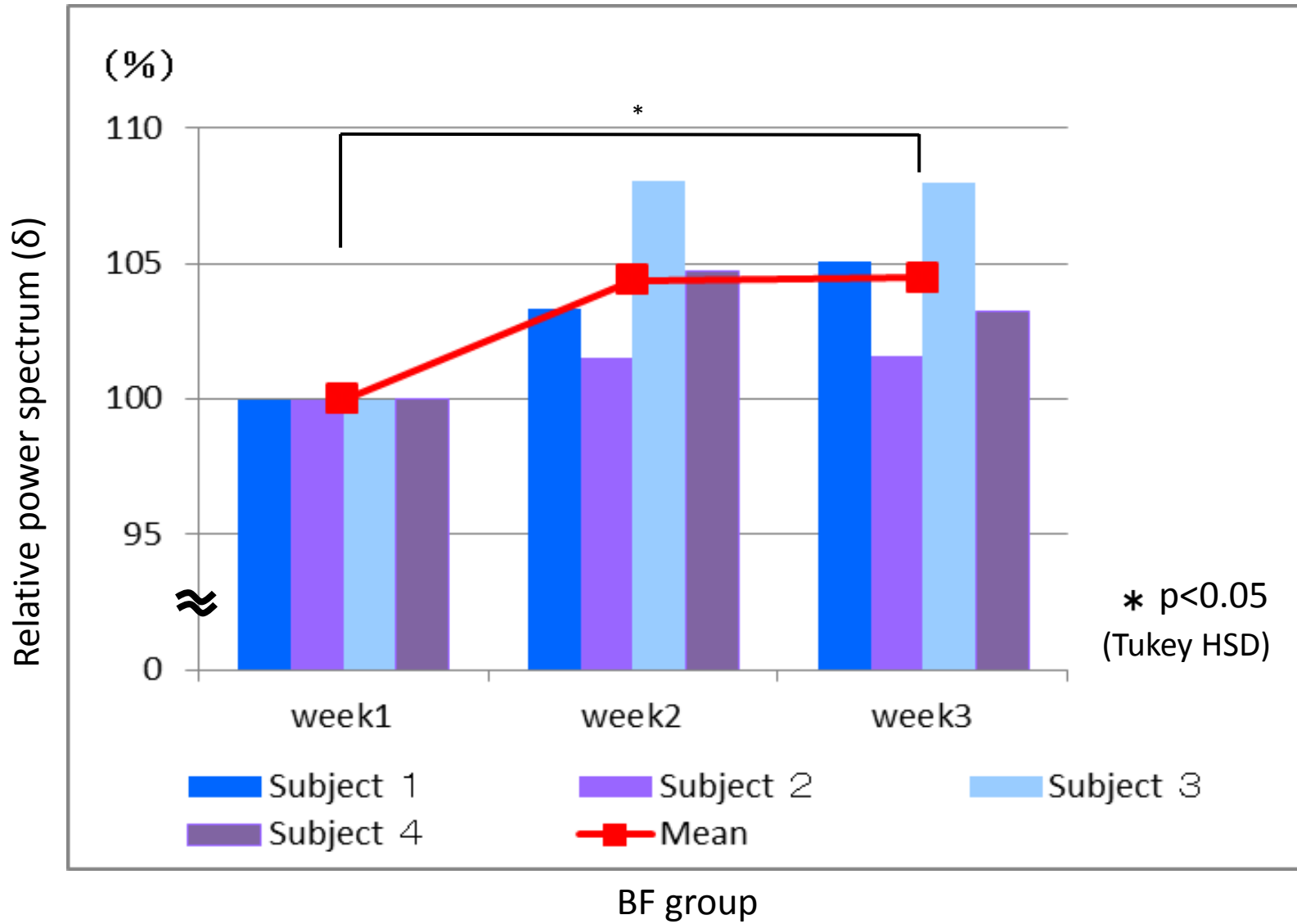


Fig 12

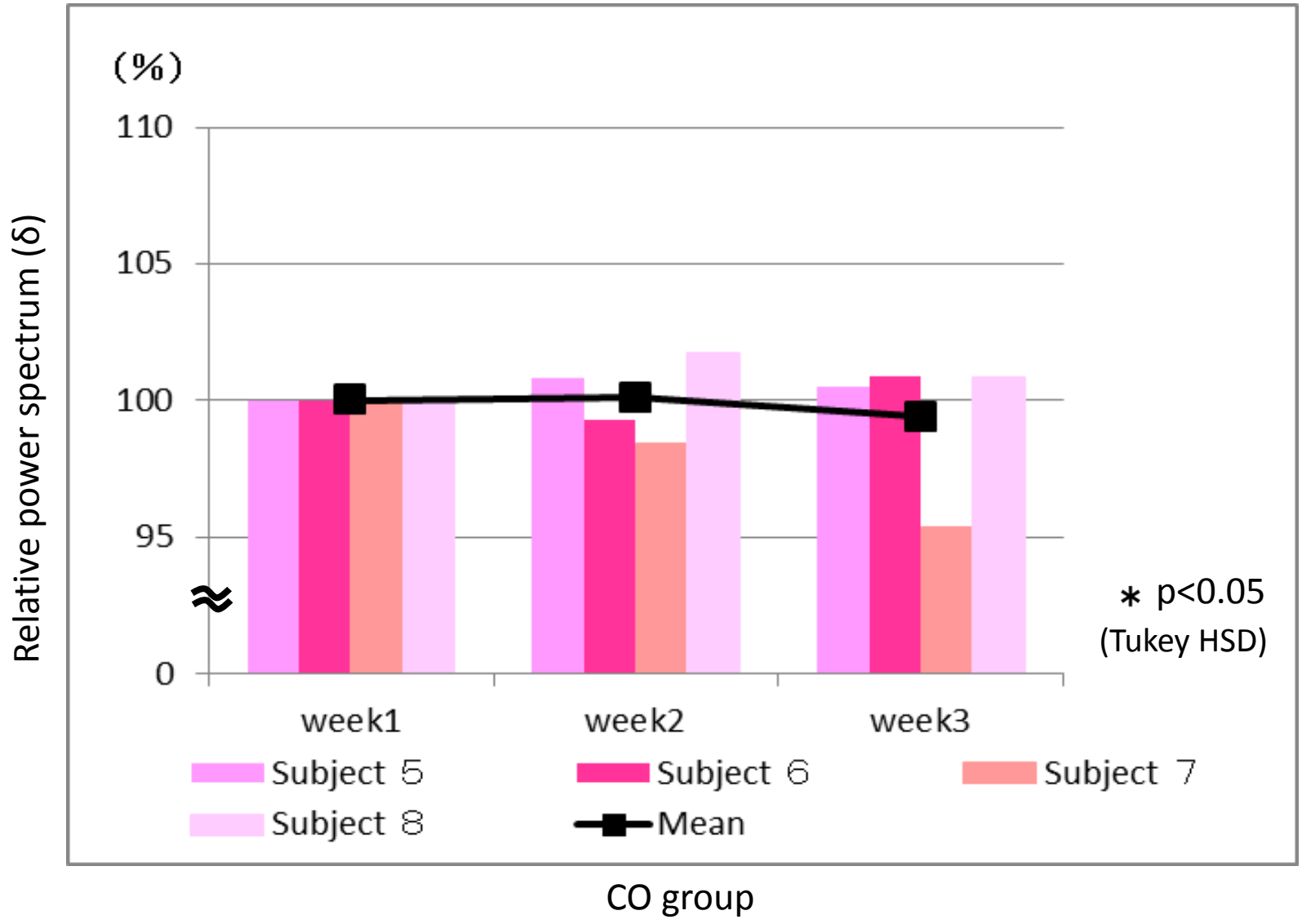


Fig 13

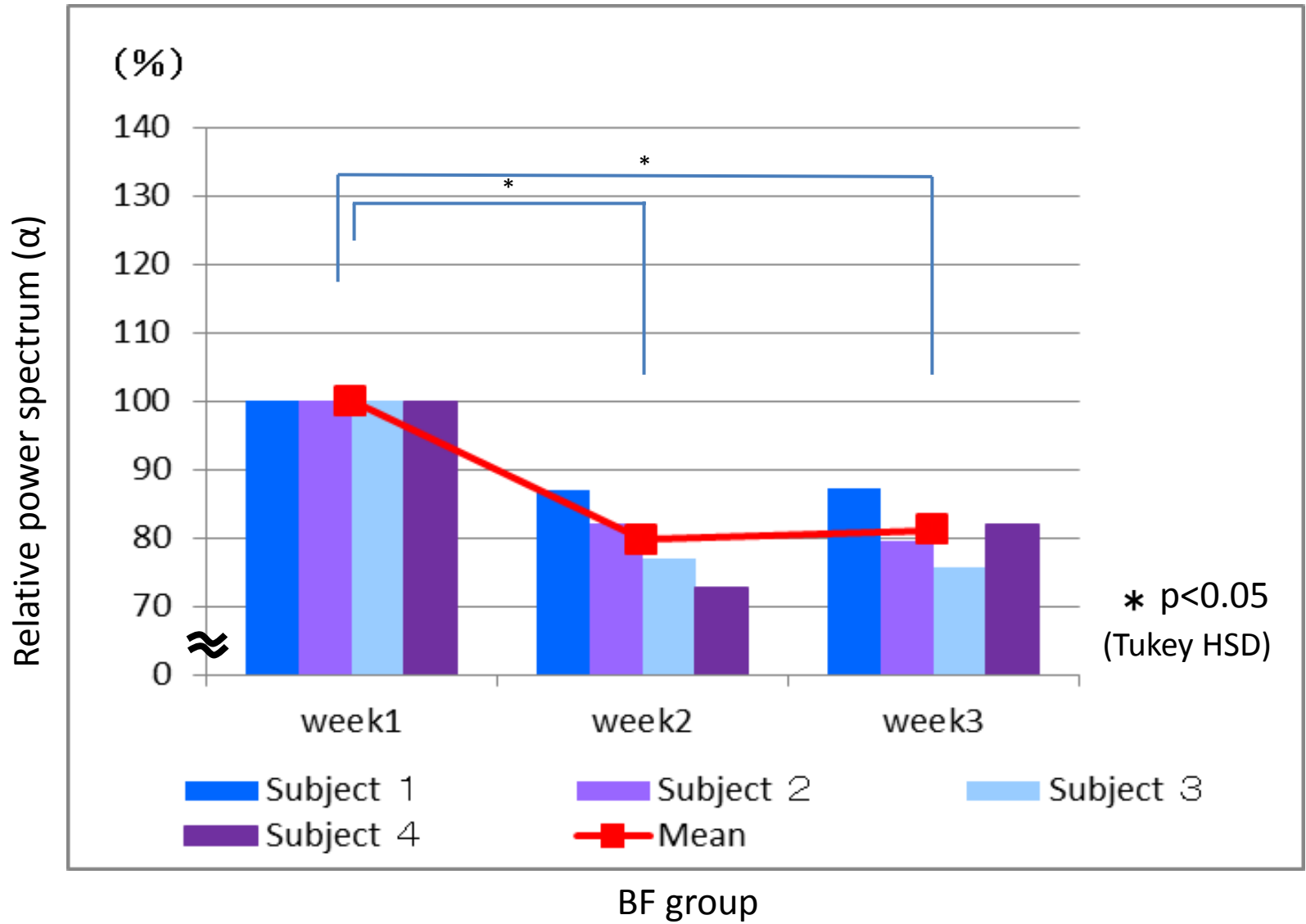


Fig 14

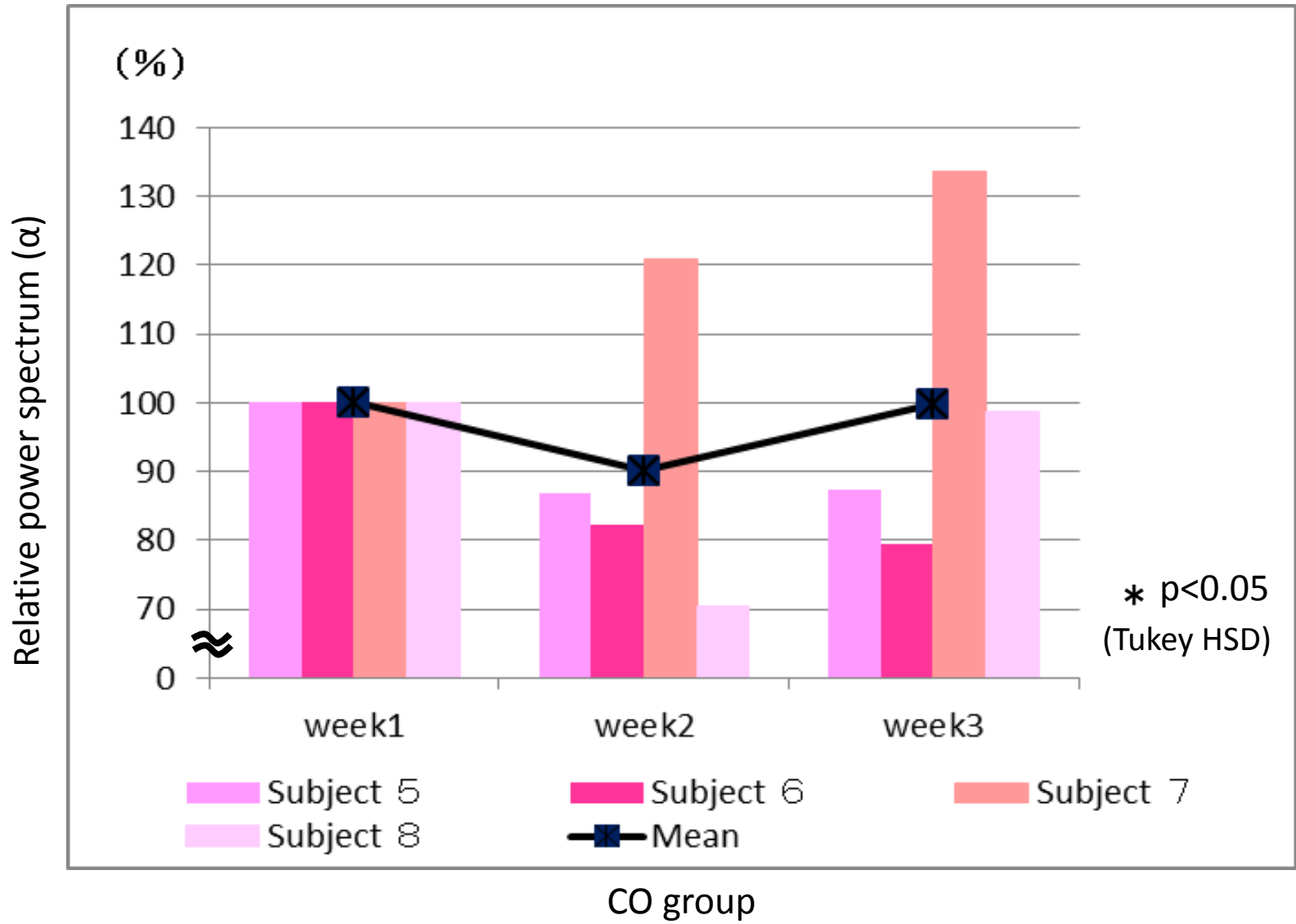


Fig 15

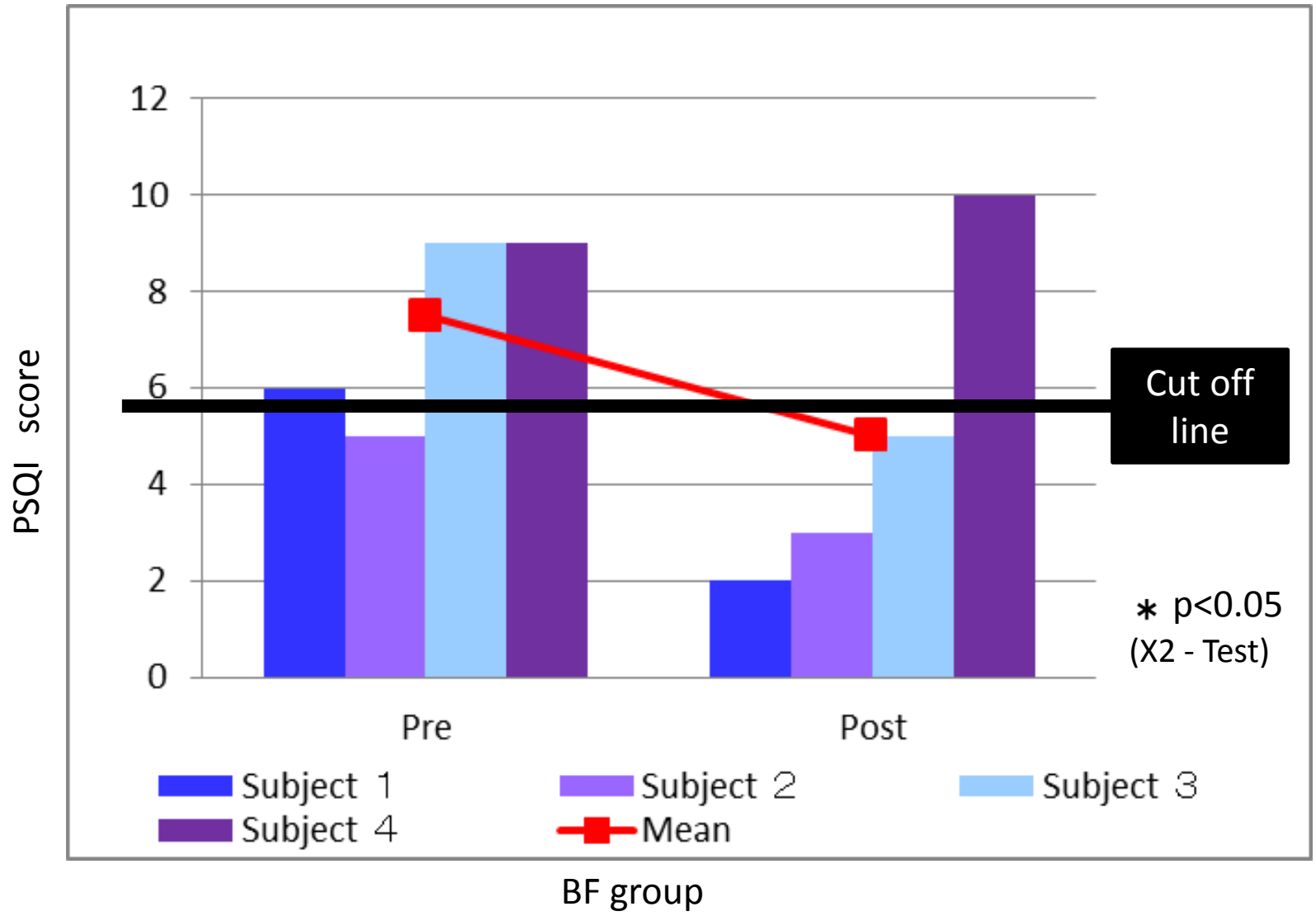


Fig 16

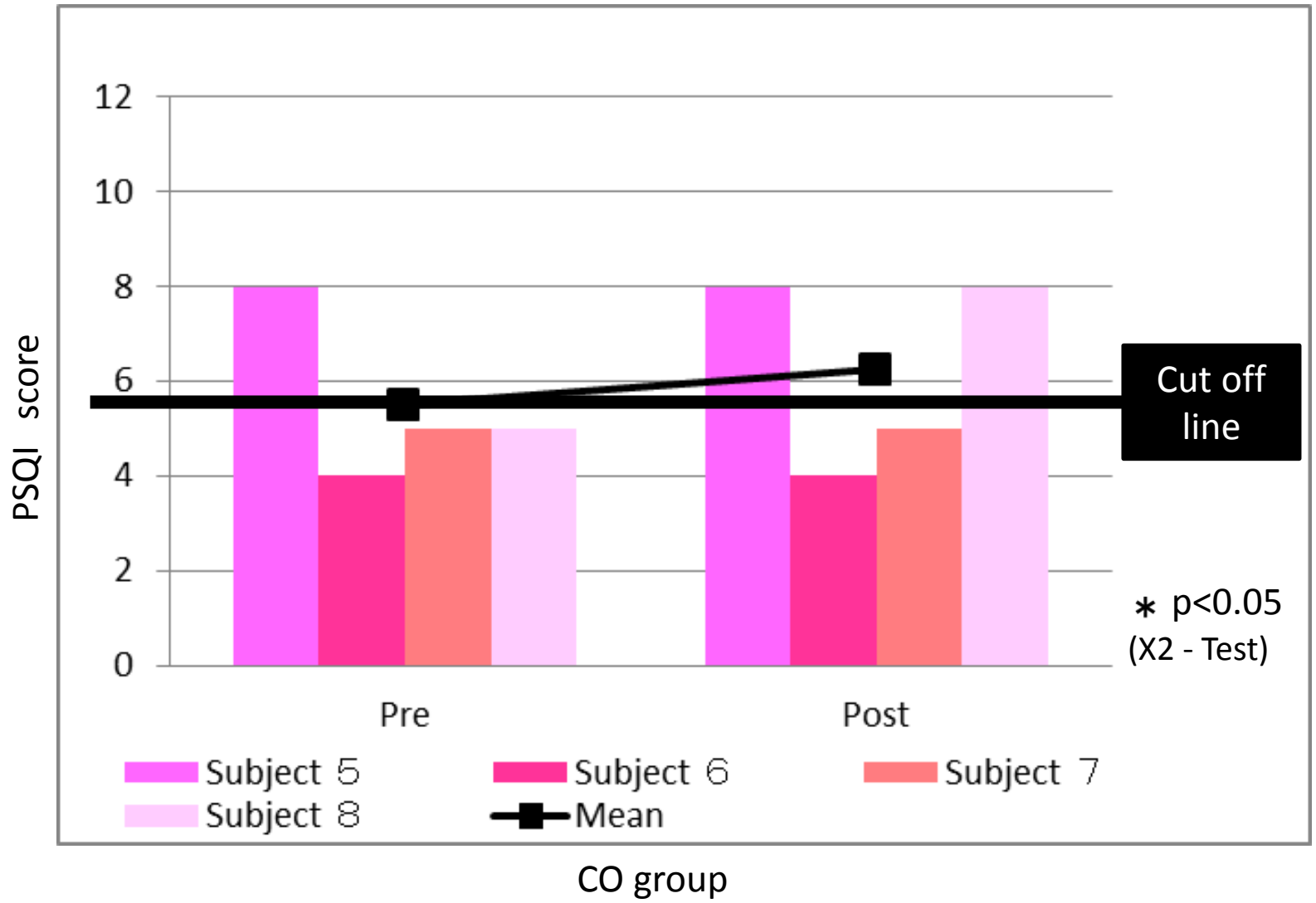


Fig 17

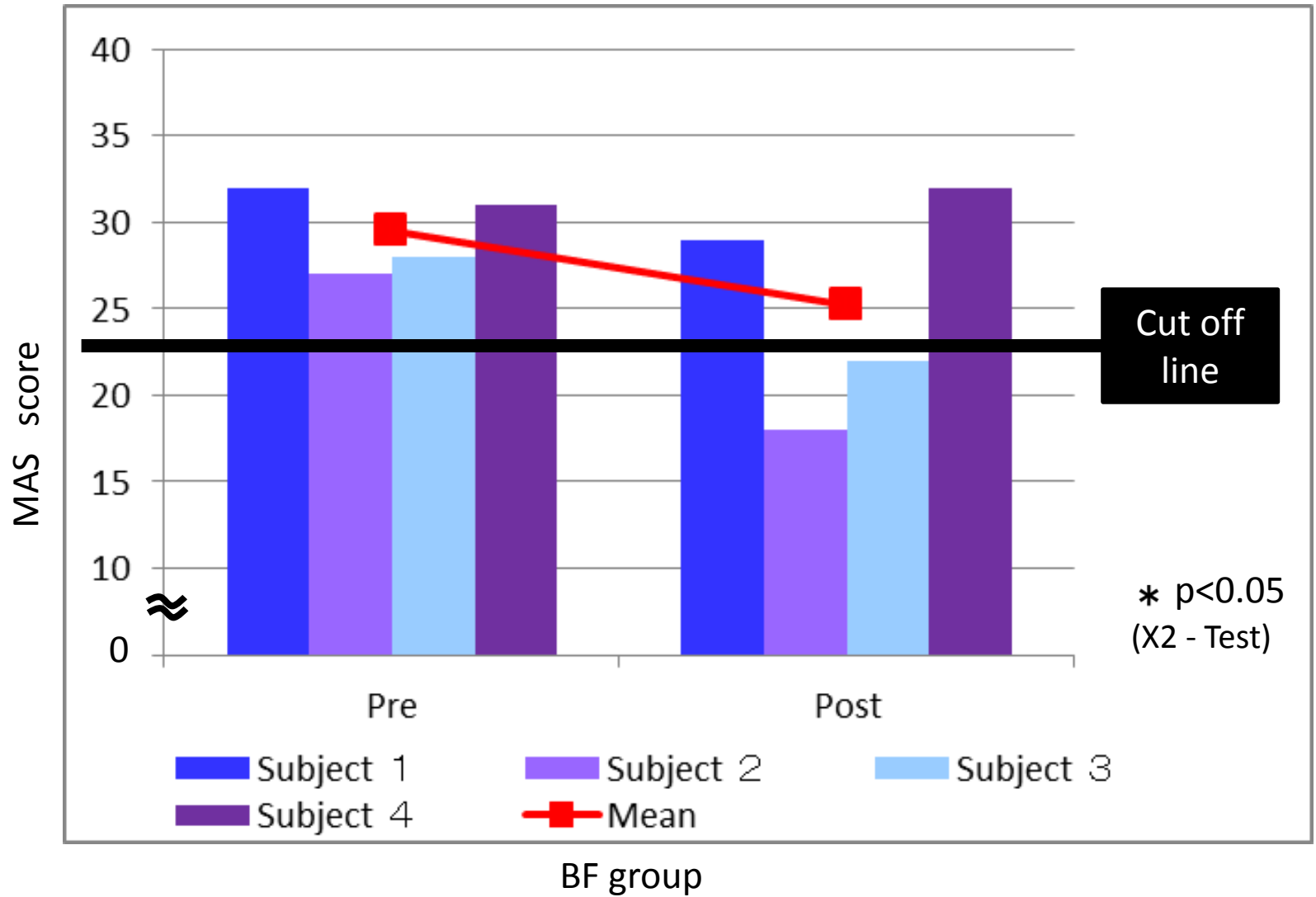


Fig 18

