

長距離運転による「神経系の疲労」の原因の
医学的分析とその対策の試験研究

亀井 勉¹ 熊野宏昭² 安士光男³

¹ 島根難病研究所

² 東京大学医学部心療内科

³ パイオニア(株)移動体通信研究所

1. 要旨

長距離運転と短距離運転の、脳波と免疫監視に与える影響を調べた。深夜にかけての長距離運転は、それを職業としているか否かにかかわらず免疫監視力を低下させることが推定され、脳波においてもβ波のみならず10Hz付近のα波も減少して「神経の疲労」が強かったことを示唆する結果が得られた。脳波光フィードバックの技法を用いることにより、この「神経の疲労」をやや回復させることができた。1時間あまりの短距離運転の場合には、長距離運転の場合とは反対に免疫監視も神経系も活性化された状態となった。交通事故の未然の防止と、運転者の健康維持のためには、1～1.5時間をひと区切りに十分な休憩をとるのが好ましいと考えられた。

2. はじめに

交通事故の多くは、運転者の精神・身体的疲労による集中力の低下が原因として考えられ、特に深夜の長距離運転などでは神経内分泌系の日内変動等の恒常性維持機能に大きな負の影響を与えているものと推定される。一方、近年は脳・免疫系連関の研究が注目されてきており、例えばin vitroの実験では、免疫細胞上における各種の神経ペプチドやサイトカインに対する受容体の存在や、免疫細胞への異なる神経ペプチドによる多種多様な作用、さらに免疫細胞内の各種神経ペプチドの存在とその神経系への作用など、複雑な調節機構が明らかにされつつある¹⁾。われわれは、深夜の長距離運転による「神経系の疲労」が脳波と免疫監視に与える影響を、長距離運転を職業としている人としていない人とで比較し、また後者では短距離運転の前後でも同様に調べて長距離運転の場合と比較検討した。さらに、各人固有の α リズムを賦活化させる目的で開発された脳波光フィードバック（

以下光FB) という技法を運転の前後で用いることにより、精神・身体的疲労による集中力の低下に対する効果を検討し、短時間の脳波の変化による *in vivo*での脳免疫関連の有無を調べた。

3. 対象と方法

(1) 実験1 : 被験者は、深夜の長距離運転を職業とする健常青年期男性 (25~39才、平均年齢32才、以下①群とする) の7名だった。実験は、長距離運転開始前の午前中に図1(a) に示す要領で、終了直後から図1(b) に示す要領で、それぞれ脳波測定と採血を行った。なお、長距離運転の直後の実験の時刻は、運転開始前の午前中の実験の時刻とほぼ同じ (午前9~10時) になるようにあらかじめ調整された。

(2) 実験2 : 被験者は、日常生活で長距離運転をしない健常青年期男性 (20~33才、平

均年齢25才、以下②群とする)の7名だった。実験は各被験者において、短距離運転の前後と深夜の長距離運転の直後の、2回にわたって実施された。短距離(約43kmのコースをあらかじめ設定した)運転においては、開始約2時間前から図2(a)に示す要領で、終了直後から図2(b)に示す要領で、それぞれ脳波測定と採血を行った。長距離運転の直後からの実験は、図2(c)に示す要領で行った。なお、長距離運転の直後の時刻は、短距離運転の開始約2時間前の時刻とほぼ同じ(午前9~10時)になるようにあらかじめ調整された。脳波測定と血液検査の方法と項目等については、実験1と同様に実施した。

(3) 実験1と実験2の両方において、被験者には実験の前夜に睡眠不足にならぬよう指示し、当日の実験2時間前からは喫煙とカフェイン摂取がないように指導した。また、運転の終了直後からの実験では、採血を無痛的に行うためにまず留置針をあらかじめ刺入し

た。脳波の測定は、全て暗室で室温18～23℃
・安楽椅子座位姿勢（傾斜角30～45度）の環境設定にて行われた。

（4）本実験で用いたパイオニア社製の光FB装置（RELACTIVE-1）は、被験者の前頭部より脳波を導出し、中心周波数10.0Hzのバンドパスフィルターにより α 波の帯域を取り出し、その周波数と振幅の大きさに応じてほぼリアルタイムに赤色発光ダイオード光の強さを変調し、その光刺激を閉眼眼前に与えることにより光駆動現象をひき起こす目的のものである²⁾。本実験の光FBは、被験者に取り付けた電極のうちFp₂から α 波を導出し、その周波数の平均値から0.2Hz低い値を中心周波数として実施された。なお、20分間の光FBはすべて、まず3分間のスイープ（フィルターの通過帯域の中心周波数を12.0Hzから8.0Hzまで経時的に下げていく操作。本来は α 波のどの範囲で最も光駆動反応がおこるかを調べるために行う）と呼ぶ光刺激期を経てから、上記

の方法で17分間実施されている。脳波測定は、ア. 日本電気三栄社製の多チャンネル生体アンプ（バイオトップ6R12-4）と、イ. フェーテック エレクトロニクス社製のバイオフィードバック装置（バイオフィードバックシステムFM-515：以下BF装置とする）を音信号なしで用いた。ア. の測定は、皿電極を16チャンネルにわたって取りつけ、各電極での測定結果を日本電気社製のパソコン9801UXでフーリエ変換後、測定された α 波の周波数の平均値 $\pm 0.5\text{Hz}$ （以下、Mとする）の周波数帯域の実効振幅を求めた。イ. では、前頭部にて2秒に1回の間隔で測定した脳波を5つの周波数帯域（ $3.5\sim 6.5\text{Hz}$ の θ 波〔以下、 θ とする〕、 $6.5\sim 8.5\text{Hz}$ の α 波〔以下、 $\alpha 1$ とする〕、 $8.5\sim 11.5\text{Hz}$ の α 波〔以下、 $\alpha 2$ とする〕、 $11.5\sim 13.5\text{Hz}$ の α 波〔以下、 $\alpha 3$ とする〕、 $13.5\sim 30\text{Hz}$ の β 波〔以下、 β とする〕）のいずれかにふり分けてそれぞれ累積させ、測定時間中の各帯域の脳波の出現率が算定

された。

(5) 血液の検査項目は、血液一般検査（赤血球数・白血球数等）とNK細胞活性（以下、NK活性）、血漿セロトニンであった。

3. 結果

(1) 実験1：①群の被験者7名のうち1名は、長距離運転後に上気道炎を発症していたため、実験の対象からはずれた。

ア. 図3は、長距離運転開始前と終了直後の実験中の、前頭部(Fp_2) および後頭部(O_2) より検出されたMの α 波帯域の実効振幅の変化を示している。図にみられるように、Mの α 波帯域の実効振幅は、長距離運転前に比べて直後では後頭側頭部及び後頭部で光FB期とその後の閉眼安静期で高くなる傾向を示した($T_5 \cdot T_6 \cdot O_1 \cdot O_2$ で $p < 0.10$)。

イ. 長距離運転開始前と終了直後の各閉眼安静期について、BF装置によって検出された各

周波数帯域の出現率を比較した結果、図 4 (a) に示すように、 $\alpha 2$ が後者において有意に減少していた ($p < 0.05$)。また、両者の光FB期について出現率を比較した結果、 β が後者で減少の傾向がみられた (図 4 (b))。他の帯域の出現率については、両者のそれぞれの期の間において有意な変化はなかった。

ウ. つぎに、末梢血中の赤血球数・白血球数の、光FB期・閉眼安静期の前後における測定値の変動の結果を図 5 に示す。統計処理の結果、赤血球数は A に対して C・D で減少の傾向がみられ ($p < 0.10$)、一方、白血球数では A に対して B で有意な増加 ($p < 0.02$)、B に対して C では有意な減少 ($p < 0.05$) が認められた。

エ. NK活性は、A に対して C では低下の傾向、C に対して D では上昇の傾向 ($p < 0.10$) がみられた。(図 6)

オ. 血漿セロトニンについては、4 回の採血を通じて統計的に有意な変動はみられなかった。

(2) 実験2 : ②群の被験者7名のうち1名は、長距離運転後に実験1と同様に上気道炎を発症していたため、実験の対象からはずれた。

ア. 実験中に検出された α 波の振幅の変化の代表例として、前頭部(Fp_2)および後頭部(O_2)より検出されたMの α 波帯域の実効振幅の変化を図7に示している。このように、Mの α 波帯域の実行振幅は、16CHの全てにおいて、短距離運転前では光FB期の方がその後の閉眼安静期よりも特に後頭部で高い傾向を示し($O_1 \cdot O_2$ では $p < 0.05$ 、図8(a)を参照)、逆に短距離運転後では閉眼安静期の方がその前の光FB期よりも高い傾向があった。長距離運転の直後の実行振幅は、光FB期の方がその後の閉眼安静期よりも特に後頭側頭部～後頭部で高い傾向がみられた(T_6 で $p < 0.01$ 、 $O_1 \cdot O_2 \cdot T_5$ では $p < 0.05$ 、図8(b)を参照)。一方、短距離運転前後での、光FB期後の閉眼安静期同士で実行振幅を比べると、16CHの全てで短

距離運転後の閉眼安静期の方で高い傾向を示した（右前頭部から頭頂部付近では $p < 0.05$ の有意水準だった。図 8 (c) を参照）

イ. BF装置によって検出された各周波数帯域の出現率を比較した結果、短距離運転の前後では変化はなかった。しかし、短距離運転直後と長距離運転直後の光FB期同士について出現率を比較した結果、後者では、 $\alpha 2$ が有意に減少していた($p < 0.01$ 、図 9 (a))。また、長距離運転直後で光FB期と閉眼安静期とで各帯域の出現率を比較した結果、 β が後者で減少し($p < 0.05$)、 θ と $\alpha 1$ は有意に増加していた（それぞれ $p < 0.01$ 、 $p < 0.005$ 、図 9 (b))。

ウ. つぎに、末梢血中の赤血球数・白血球数の、光FB期・閉眼安静期の前後における測定値の変動の結果を図10に示す。統計処理の結果、赤血球数はAに対してE・F・Gで減少の傾向がみられた($p < 0.10$)。白血球数では、Aに対してはB～Gで有意な変化はなかったが、Eに対してBでは多い傾向がみられた(p

<0.10)。

エ. 図11に示すようにNK活性は、Aに対してB・Eでそれぞれ低下・上昇の傾向がみられ（両者とも $p < 0.10$ ）、B・E間には有意な差($p < 0.05$)であった。また、光FBとそれに続く閉眼安静（いずれも20分間）によって、長距離運転の直後ではNK活性に有意な変化はなかったが、短距離運転の直後では光FBにより低下した($p < 0.05$)。

オ. 血漿セロトニンについては、Fに対してGで有意な増加($p < 0.02$)となっていたが、AからFまでの値においては統計的に有意な変動はみられなかった。

5. 考察

ア. 長距離運転を職業とする健常青年期男性（①群）の場合、長距離運転直後では運転前の同時刻に比べて、後頭部における脳波光フィードバック反応（光FB反応）は起こらず、

その後の閉眼安静期においても実効振幅の低下は続いていた。一方、日常生活で長距離運転をしない健常青年期男性（②群）において長距離運転直後の測定結果を短距離運転前のそれと比べると、光FB期同士とその後の閉眼安静期同士の比較では、やはり長距離運転直後で両者とも実効振幅の低下の傾向がみられた。これらは、長距離運転が両者とも深夜にかけて行われていたため、それを職業としているか否かにかかわらず実験中に熟睡した被験者が多かったことによる。しかし、両者における後頭部のMの実効振幅の変化を光FB期とその後の閉眼安静期で比較すると、①群では変化はなかったのに対して②群では短距離運転前と長距離運転直後の両方で光FB期の方が有意に高く、光FB反応が②群では有効に起こっていた。この理由には、②群が長距離運転を日常生活においてしていないという他に、①群に比べて平均年齢が低いこと、それにより今までに脳波の変化のパターンに影響を

与えうるような日常生活上の嗜好品（アルコール・喫煙など）の摂取の累積に相違があることなどの因子が加わっていることが挙げられると思われる。一方、②群における短距離運転直後では、光FB期の平均振幅はその後の閉眼安静期のそれよりも高くなくむしろ低くなっていた被験者が多かった。1時間あまりの短距離運転直後では熟睡していた被験者は少なかったことから、この程度の運転の直後では、各人固有の α リズムは運転前の心身のストレスが全くなかった時に比べると一時的に抑制された状態にあったために、光FB反応はすぐには起こらず、その後の閉眼安静期で遅発性に生じたものではないかと推測される。他、時刻が経過していることによる影響や、光FBが1日のうちの2度目の場合には反応のパターンが異なるという可能性も考えられ、今後の検討を要するところと思われる。上記から総じてみると、「神経系の疲労」は、まずは α 波の振幅の低下として観察され、光

FBにはそれを改善するための一定の効果があると考えられる。

イ. ①群と②群の両者で長距離運転前後の α 波の変化を $\alpha 2$ の出現率で調べた結果は、やはり運転直後の減少となっており、ア.の結果と同様に運転直後では固有の α リズムは減弱していたことが裏付けられた。また、光FB期同士の β の出現率も、①群と②群の両者とも、運転前に比べて運転直後で減少の傾向がみられた。これについても、ア.で述べたように①群と②群を問わず実験中に熟睡した被験者が多かったためと思われる。②群の運転直後で光FB期よりも閉眼安静期で θ と $\alpha 1$ が増加した理由も同じと考えられる。

ウ. ①群の長距離運転直後と②群の短距離運転直後においては、赤血球数は減少の傾向となっていた。しかし、白血球数は長距離運転直後には、①群では有意な増加、②群でも増加の傾向がみられた。長距離運転終了直前（実験の開始直前）の約2時間前からコーヒー

・茶などのカフェインを含む水分の補給がないように指示していたことから、長距離運転終了直後の実験については水分に関してはむしろ多少の補給を必要とする状況であったものと思われる。白血球数が長距離運転直後に①群・②群とも増加の傾向にあった理由には、やはりこのような軽度の脱水の状態にあったであろうことが推定される。一方、短距離運転終了直後の実験については、運転の開始時に約200mlほどカフェインを含まない水分を補給していた。②群で赤血球数の減少の傾向が短距離運転直後の方でのみられたのは、このためと推定される。

エ. NK活性は、①群・②群とも、長距離運転直後で低下する傾向がみられ、②群の短距離運転直後では上昇の傾向があった。この動きは白血球数の変動とは逆であり、運転の前後において白血球の分画に影響をおよぼすような身体の変化はなかったことから、上記のNK活性の低下はNK細胞1個あたりの活性が低下

したものとみることができると考えられる。
NK活性は算数の暗算など集中力を要する作業
で上昇することが知られており⁹⁾、②群の短
距離運転にて上昇の傾向があったのは、これ
と類似した反応ではないかと推定される。
オ. 以上を総合して今回の実験から得られた
結論として、長距離運転を職業としているか
否かにかかわらず、深夜にかけての長距離運
転が免疫監視に与える負の影響が推定され、
脳波も β 波のみならず10Hz付近の α 波も減少
して「神経の疲労」が強かった。1時間あま
りの短距離運転の場合は、反対に免疫監視も
神経系も活性化された状態となった。交通事
故の未然の防止と、運転者の健康維持のため
には、1~1.5時間をひと区切りに十分な休
憩をとるのが好ましく、休憩による「神経の
疲労の回復」の確認には、今回のように脳波
を測定することは意義があるものと考えられ
た。

6. 謝辞

稿を終えるにあたって、福山通運(株)出雲営業所の皆さまと日本通運(株)出雲支店の石原正志様、パイオニア(株)移動体通信研究所第一研究室の千々岩克氏をはじめとするスタッフの皆さまと、島根医科大学医学部生理学第一の榊村純生教授と同学生の林 貴史、大野 智、中村英介の各君、及び(財)島根難病研究所の検査部と(株)三菱科学ビーシーエルの皆さまの、ご協力とご支援に深謝致します。最後に、今回の(財)交通・予防医学研究財団による研究助成に厚く感謝申し上げます。

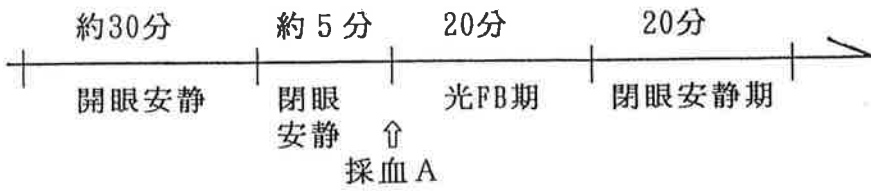
7. 文献

- 1) Ader, R. et al. : Psychoneuroimmunology, 2nd Edition, 1991
- 2) Yasushi, M. et al. : Jpn. J. Biofeedback Res., 19:41-47, 1992

3) Naliboff, B. D. et al. : Psychosom.

Med. 53 : 121-132, 1994

(a) 長距離運転開始前の午前中の実験

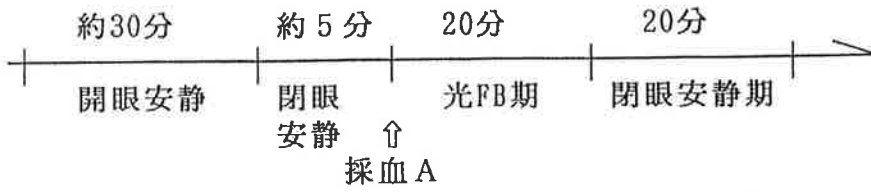


(b) 長距離運転直後の実験((a)の2日後)

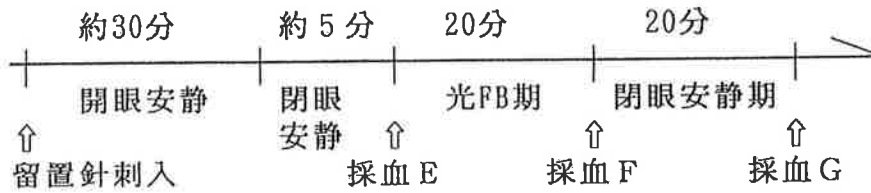


図1 実験1

(a) 短距離運転開始前の実験 (図1の(a) とほぼ同時刻となるようにした)



(b) 短距離運転直後の実験

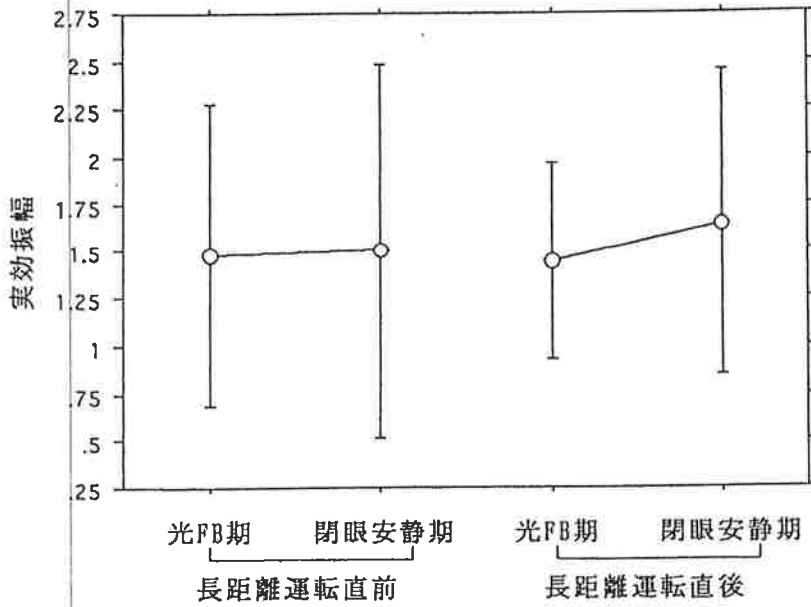


(c) 長距離運転直後の実験



図2 実験2

(a) 前頭部(Fp₂)



(b) 後頭部(O₂)

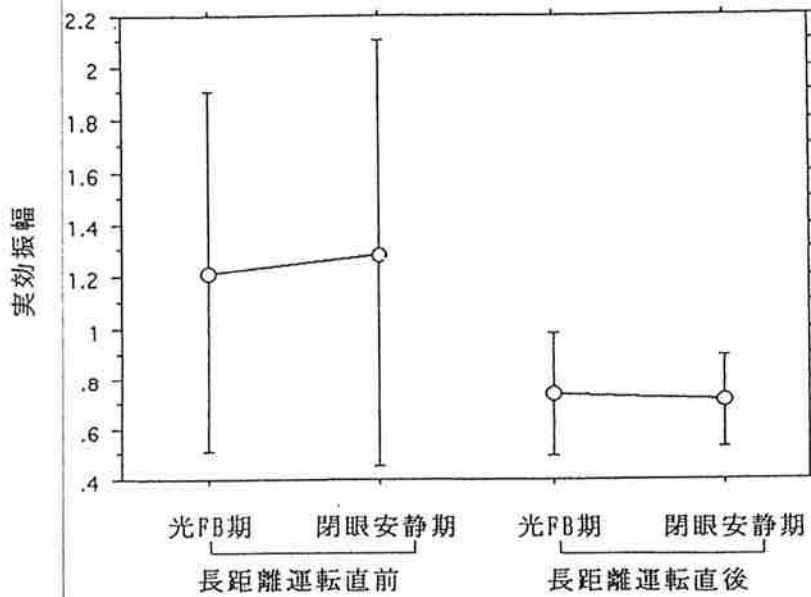
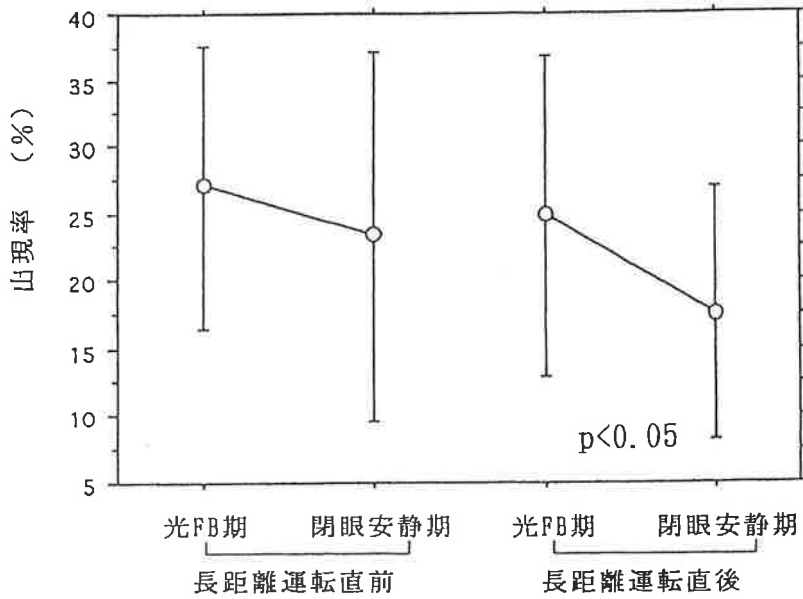


図 3 ①群の長距離運転開始前と終了直後における前頭部(Fp₂)と後頭部(O₂)より検出されたM(測定されたα波の周波数の平均値±0.5Hz)の周波数帯域の実効振幅

(a) $\alpha 2$ (8.5Hz ~ 11.5Hzの周波数帯域の α 波)



(b) β (13.5Hz ~ 30Hzの周波数帯域の β 波)

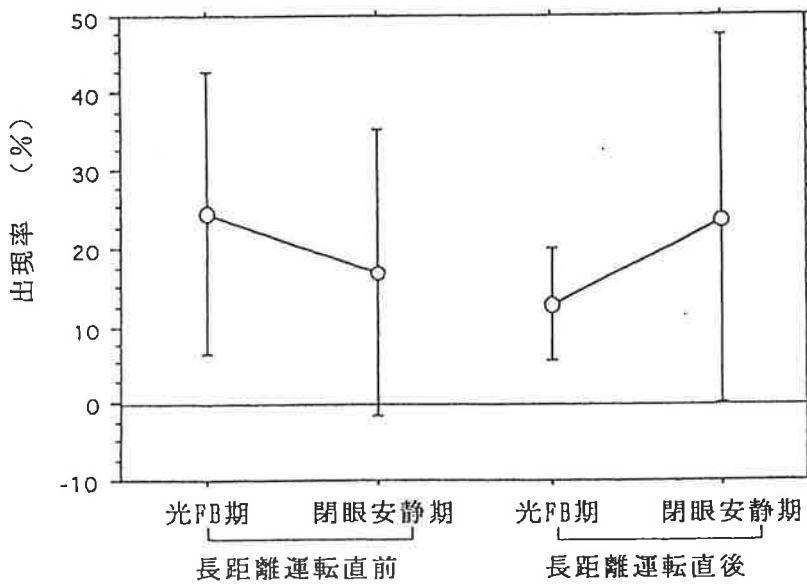
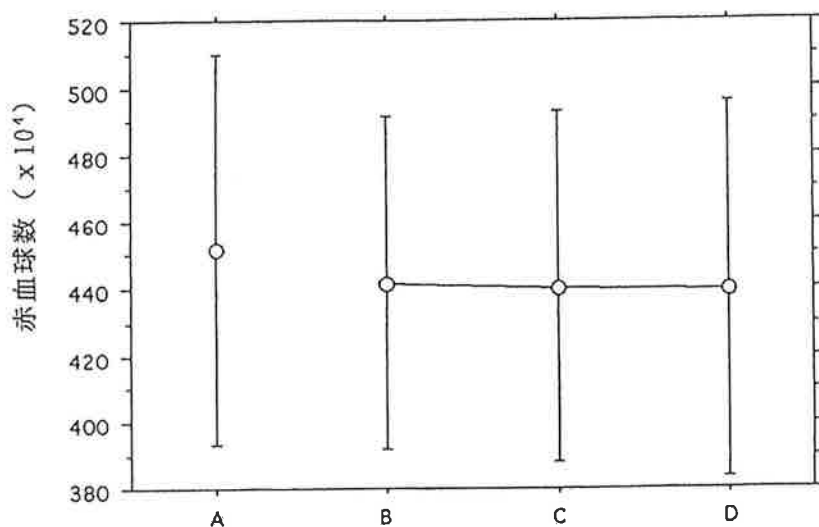


図 4 ①群の長距離運転開始前と終了直後における $\alpha 2$ (8.5Hz ~ 11.5Hzの周波数帯域の α 波)と β (13.5Hz ~ 30Hzの周波数帯域の β 波)の出現率

(a) 赤血球数



(b) 白血球数

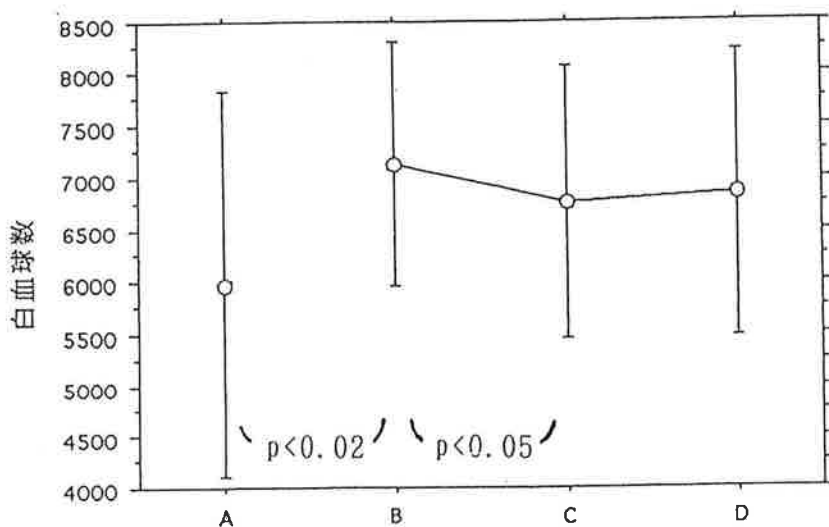


図 5 ①群の長距離運転開始前と終了直後における赤血球数と白血球数の変化

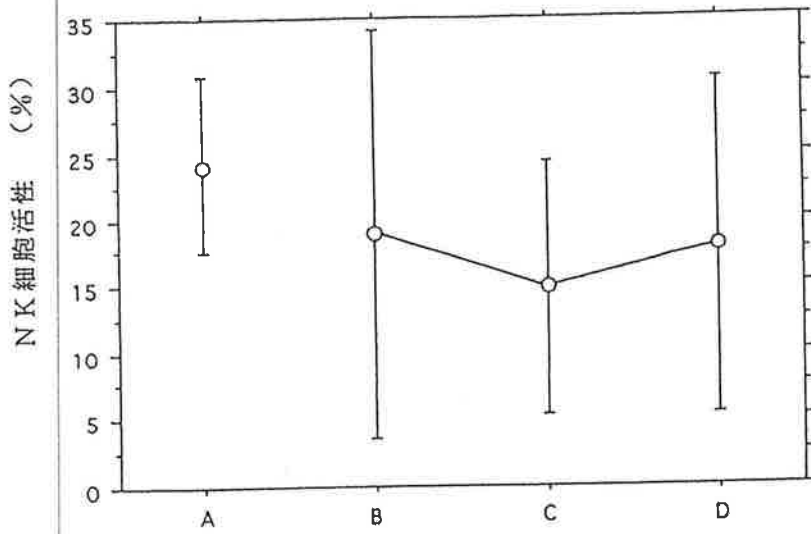
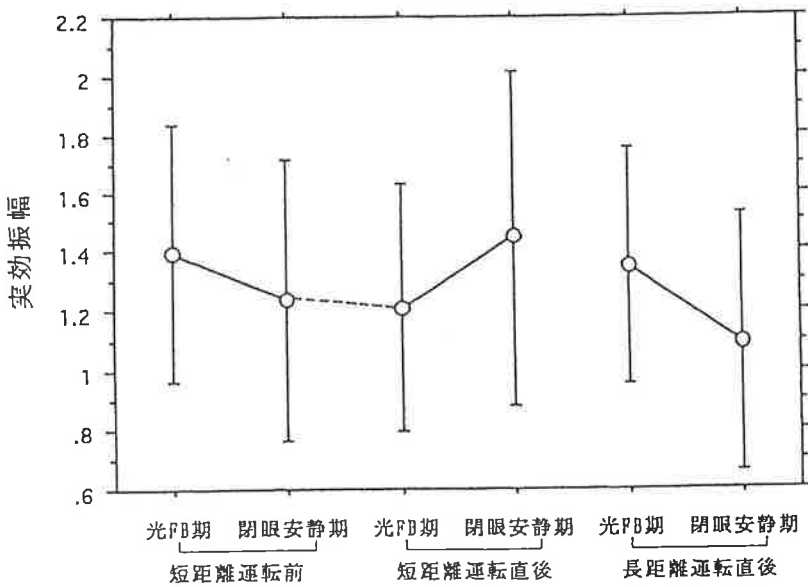


図 6 ①群の長距離運転開始前と終了直後におけるNK細胞活性の変化

(a) 前頭部(Fp₂)



(b) 後頭部(O₂)

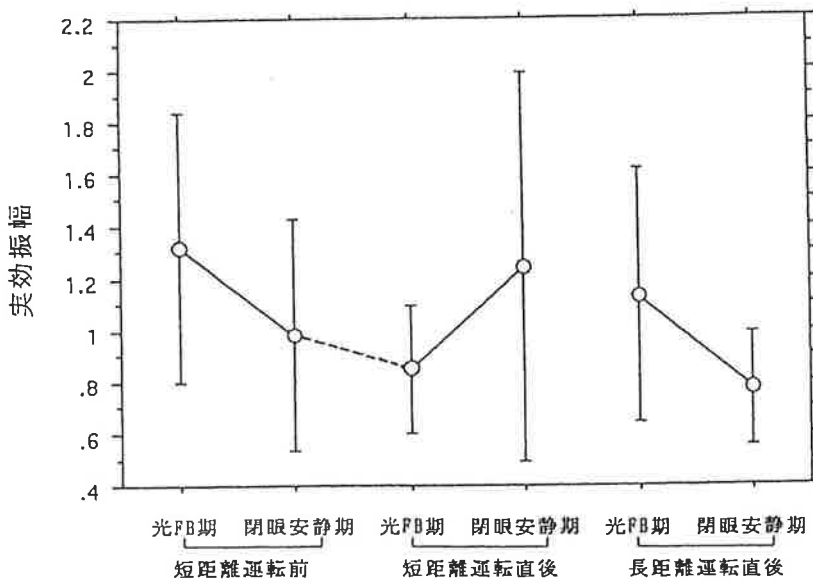
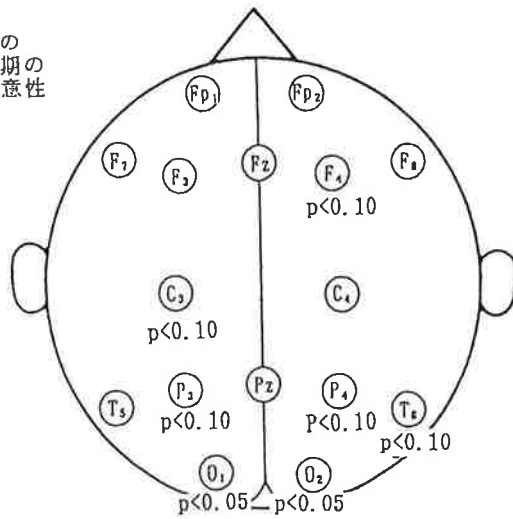
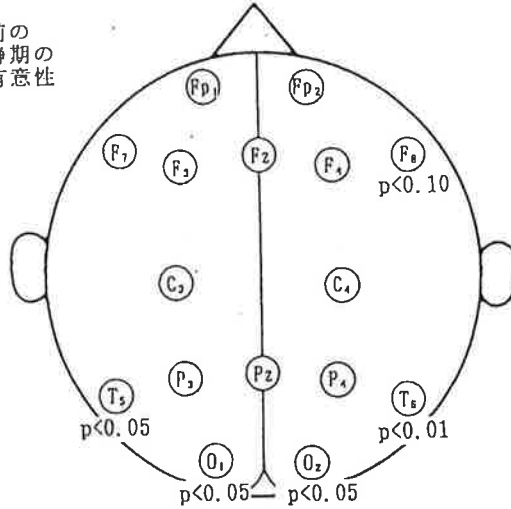


図 7 ②群の短距離運転開始前と終了直後および長後波の頭部(0₂)の波数の平均値±0.5Hz)の測定された域の効振

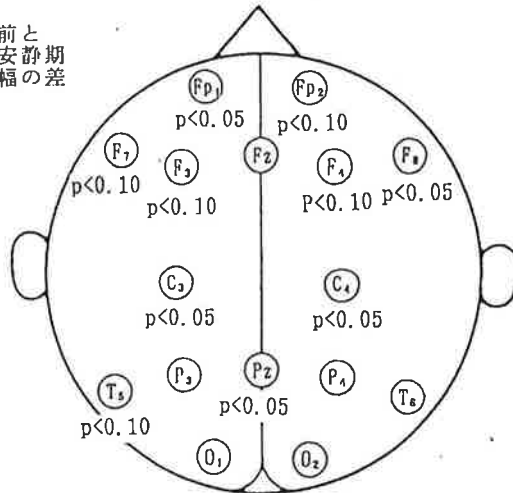
(a) 短距離運転開始前の
光FB期と閉眼安静期の
実行振幅の差の有意性



(b) 長距離運転開始前の
光FB期と閉眼安静期の
実行振幅の差の有意性



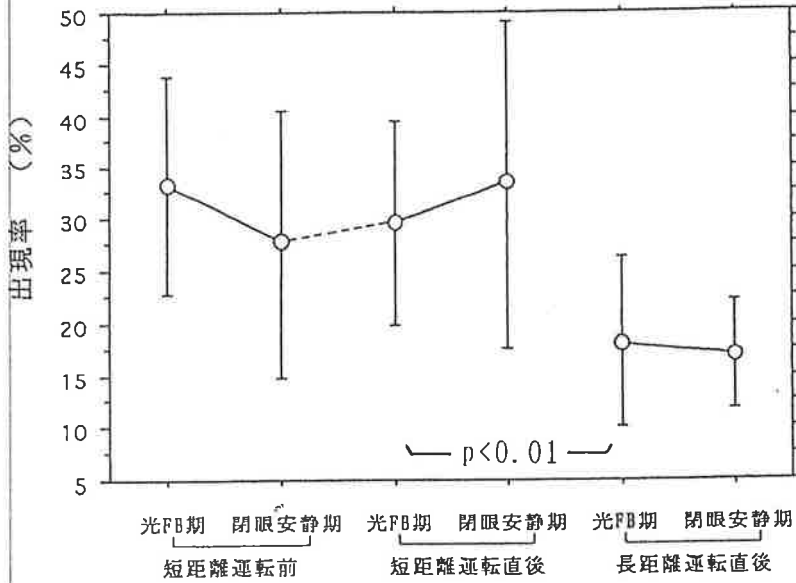
(c) 短距離運転開始前と
終了直後の閉眼安静期
同士での実行振幅の差
の有意性



検定結果が記入されていない電極は $p > 0.10$

図 8 ②群の短距離運転開始前と終了直後および長距離運転終了直後の閉眼安静期での実行振幅の差の有意性 (図 7 を参照)

(a) $\alpha 2$ (8.5Hz ~ 11.5Hzの周波数帯域の α 波)



(b) β (13.5Hz ~ 30Hzの周波数帯域の β 波)

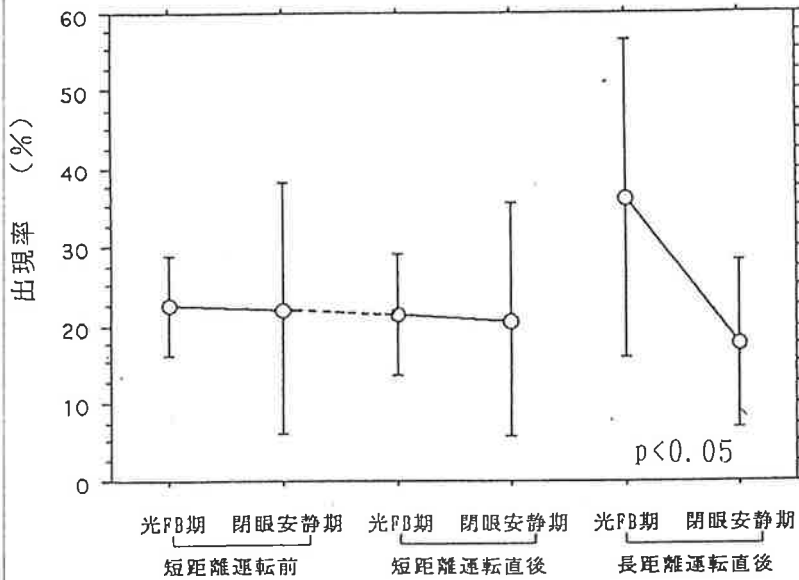
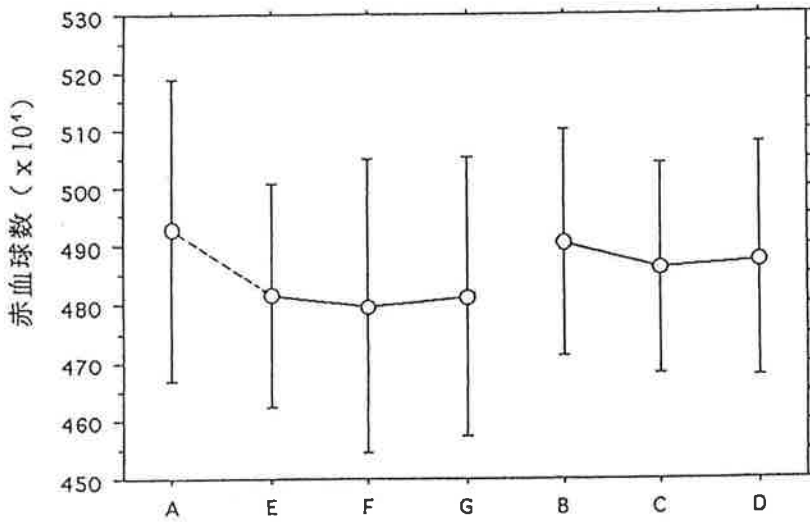


図 9 ②群の短距離運転開始前と終了直後および長距離運転終了直後における $\alpha 2$ (8.5Hz ~ 11.5Hzの周波数帯域の α 波)と β (13.5Hz ~ 30Hzの周波数帯域の β 波)の出現率

(a) 赤血球数



(b) 白血球数

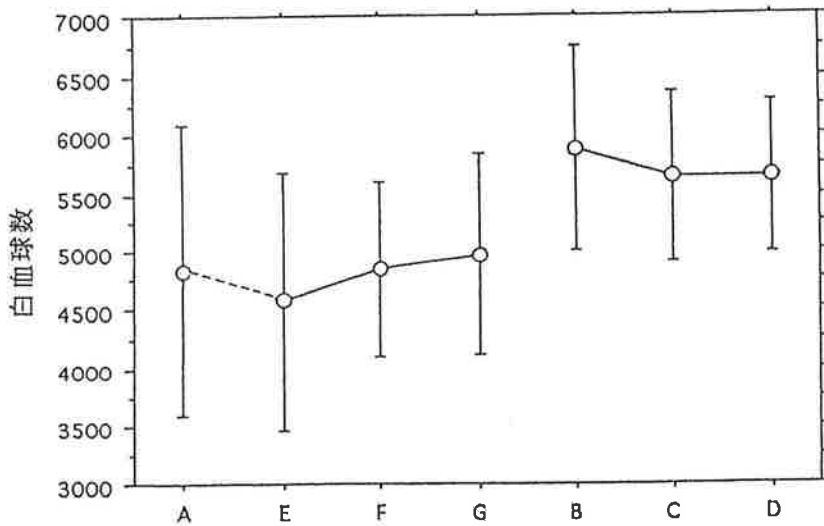


図10 ②群の短距離運転開始前と終了直後および長距離の運転終了直後における赤血球数と白血球数の変化

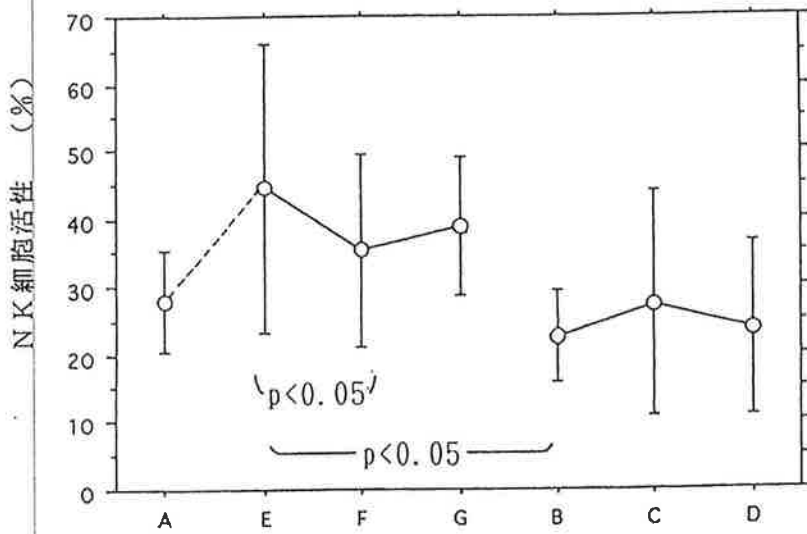


図11 ②群の短距離運転開始前と終了直後および長距離運転終了直後におけるNK細胞活性の変化