

論文・解説

21

シートリラックス装備の提案と生理学的評価 Proposal of Seat Relaxation Equipment and Its Physiological Evaluation

道田 奈々江^{*1} 元吉 菜緒子^{*2} 宮原 民夫^{*3}

Nanae Michida

Naoko Motoyoshi

Tamio Miyahara

要約

運転操作が必要な運転者とは異なり、それ以外の乗員では、「リラックス」がシート着座時における快適性の重要な要素である。本研究の目的は、リラックスを導くための実用的な快適装備を提案し、その効果について生理学的に検証を行うことである。リラックスとは、身体の筋緊張を解くことができる状態であり、その状態が精神的なリラックスも促進すると考えられる。リラックスを促進するため、身体的負荷を低減する手段として、調整式ロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレスト、クッション前側チルト、オットマンを提案した。これら各装備の具体的な効果について生理指標を用いて確認した。まず実験室実験で、ヘッドレストは首の筋活動を低減させ、クッションチルトは腰の筋活動を低減させることを確認した。また実走実験で、これら装備を使用するとリラックスした状態が深く長く維持されることを、脳波を指標として明らかにできた。いずれの実験においても、主観的にも着座中のリラックス感の増大や身体各部の疲労感の減少が認められた。

Summary

It is assumed that passengers' comfort is to be marked with the "relaxation," different from drivers'. This study aimed to propose the equipment that is beneficial to the passengers and to verify the effects on them physiologically. Relaxation is assumed as the state of relieved muscle tension, which moderate mental strain. In order to promote physical relaxation, the following equipment was chosen: the headrest with adjustable bolster, the tilt-able cushion with great degree and the ottoman. First, in a laboratory test, effects of the equipment were physiologically verified by electromyogram (EMG); the headrest lowered the neck muscle activity and the cushion lowered the back muscle activity. Next, in an on-road test, effectiveness on the mental relaxation with all the equipment was verified. The electroencephalogram (EEG) showed that the participants relaxed deeper and longer with them. The subjective evaluation in the both tests stated more relaxation feel and less physical fatigue.

1. はじめに

乗員がシートに座った際の快適性は、いくつかの要素から評価される。このとき、乗員が運転者であるかそうでないかで、求める快適性の要素には違いがあると考えられる。運転者と比較して他の乗員（以下、単に乗員と記す）は運転操作をしないため、姿勢を一定に保つ必要はなく、緊張感も必要ない。つまり身体的にも精神的にも、リラックス

した状態で座っていることが可能である。この運転者と異なる要素である「リラックス」が乗員の快適性を特徴づける鍵となると考え注目した。リラックスには身体的、精神的という二つの側面があるが、身体的なリラックスは筋発揮力の強弱の軸で、精神的なリラックスは覚醒水準の高低の軸で表現できる (Fig.1)。これらは相互に関係するため、身体の筋緊張を解くことができる状態が、精神的なリラックスを促進すると考えられる。

*1~3 装備開発部

Interior & Exterior Components Development Dept.

本研究の目的は、乗員にとって長時間快適なシートのありかたを検討し、それに基づいて提案した快適装備の効果を、脳波や筋電、血流などの生理学的指標を用いて検証することである。

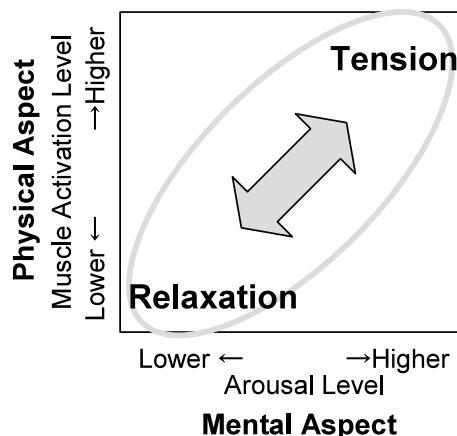


Fig.1 Relationship between Two Aspects of Relaxation

2. リラックス促進のための課題

着座した乗員が身体の筋緊張を解くための最も効果的な手段は、バックレストを利用することである。一般に、自動車シートを含む椅子に座った場合、バックレストの倒し角度を大きくすると、背中の筋電振幅と椎間板内圧が減少する⁽¹⁾。これはバックレストを倒すことで、上半身の体重をバックレストが支える割合が大きくなるためである。しかし、自動車室内という条件を考えると、倒し角が大きければ良いわけではなく、倒すことによる課題も生じる。まず、倒し角が大きいほど前後スペースが必要になりパッケージレイアウトの困難が生じる。また身体的にも、バックレストを倒すことで以下に述べる二つの筋負担が生じる。

まず、頸部の筋肉に負担が生じる。首は、骨格によって堅牢な形状を保つ頭部や胸郭部とは異なり、椎骨の連なりを細い筋肉で支える脆弱な構造である。Fig.2に示すようにバックレストを倒すと、頭部の重心が首と胴体の付け根より後にずれる。このとき、頭部と胸郭部を適切に支えても、首はシートから離れた状態であるため、首を筋肉の力で曲がらないようにしない限り、頭部の保持が不安定になる。よって首の筋肉に負担がかかる。

次に、バックレストを倒してもたれかかると背部の体幹起立筋の筋力は不要になるが、一方で腹筋や背筋に異なる負担が生じる。その仕組みは、以下のとおりである。バックレストを倒すことにより胴体と大腿の間の角度（ポデーアングル）が開き、臀部が前方向にずれやすくなる。またそれによって骨盤が後転して腰椎の前湾が減少し、腰部に負担が生じる⁽²⁾。よってこうした現象を防ぐために、腹筋や背筋を余分に働かせる必要がある。

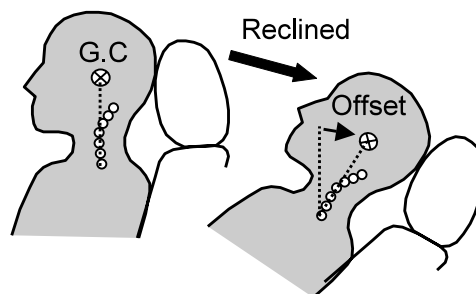


Fig.2 Relationship between Seat and Passenger

3. リラックス装備の提案

ここでは実際の乗用車を開発するにあたって、乗員が脱力してバックレストによりかかることができる利点を実現しながら、前述の課題の解決を図る装備を提案する。この装備を本稿はリラックス装備と呼ぶ。

装備の提案に先立ち、パッケージング効率を最も良くするために、身体的な効果を得るのに十分な必要最低限の倒し角について先行研究をもとに検討した。Ånderssonら⁽¹⁾は、鉛直線から後方へのバックレストの倒し角を変化させて着座時の椎間板内圧を測定した。その結果、 -10° から 20° までの間は椎間板内圧が直線的に低下するが、 20° から 40° までの間ではその低下は不明瞭になると述べている。またNicholson & Stone⁽³⁾は、飛行機での長距離移動における、乗員の快適性とスペース効率について検討した。それによると 40° 付近までバックレストを倒せば、ベッドに横になった時や 50° 付近まで倒した時と比較してやや劣るが、 20° 付近までしか倒さない時と比較して明らかに適切な睡眠が得られると述べている。これらの先行研究は、椎間板内圧を低減させ、快適性を高めるために必要なバックレストの倒し角が 40° を超えるあたりであることを示唆している。よってパッケージング効率と身体負担の双方に恩恵があり合理的と考えられる、バックレストを 45° 倒した状態をベースにリラックス装備を検討することとした。

装備内容としては、まず、頸部の筋負担を解放するため、ヘッドレストに後頭部の下部を支えるロアボルスタを提案した。更に、横Gの入力などにより動きやすい左右方向の頭部の移動を規制するため、サイドボルスタもあわせてデザインした。これにより、頭部を①コアピロー、②ロアボルスタ、③サイドボルスタの3点で支えることができる。球体に近い頭部は、このように3点で支持することにより、安定させることができる。

次に腹筋や背筋の余分な緊張を解決するために、クッションの傾き角を通常使用状態より 6° 大きく調整できる前側チルトを設定した。これにより、ポデーアングルを適切に保持し、骨盤後転に伴う腰椎前湾の減少と臀部の前ずれを防ぐことができる。ただし、これだけ大きくクッション角を上げると、フロアから膝の位置が遠くなるため、膝角

度が小さくなったり、足がフロアで支えられなくなったりして、膝裏が圧迫され、下腿の血行が悪くなる可能性がある。そこで、オットマンにより膝角度を確保し、膝裏の圧迫を除くこととした。

これらの提案したリラックス装備 (Fig.3), すなわち調整式のロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレスト, クッション前側チルト, オットマンの効果について, 以下の二つの実験によって生理学的な検証を行った。

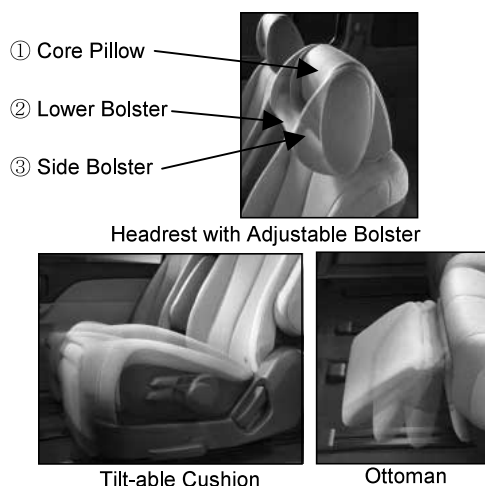


Fig.3 Equipment for Relaxation

4. 効果の検証

4.1 実験1

装備が身体的に筋脱力を促進する効果について, 実験室実験で検証した。

(1) 方法

参加者: 男性5名, 女性2名 (身長156~180cm, 体重48~85kg, 年齢23~45歳) が実験に参加した。

装置: リラックス装備を備えたシートを準備し, 筋電の計測のために生理計測装置 (Biopac systems, Inc., MP100 system) を使用した。

手続き: 各参加者は3つの装備を全て使用するリラックス条件と全く使用しないノーマル条件の両条件に参加した。両条件とも, バックレストの倒し角は45°で90分間シートに着座した。1日に1条件で, 初回とは異なる日に別の条件を実施した。条件の順序は, 被験者間でカウンタバランスを取った。実験は朝9:30~, 昼13:00~, 昼15:00~の3つの時間帯に設定し, 個々の参加者について2条件が同じ時間帯に実施されるよう計画した。各参加者に対し, 両日とも実験前日は同じ時間に就寝し, 当日は同じ時間に起床すること, 実験前日から激しい運動は控えることを教示した。

主観評価: 90分間のテスト後に, 首, 肩, 腰, 尻, 大腿, 脛脛という身体各部の痛みもしくは痺れの度合いを「全く

ない」の0から「極端に強い」の10までの11段階で評価してもらった。加えて, 全体的なリラックス感についても, 0の「非常にくつろいだ」から10の「全くくつろげなかった」で評価してもらった。

筋電: 90分間のテスト中, Ag-AgCl表面電極を用いて, 双極導出により測定した。20-200HzのバンドパスフィルタとHumカットオフフィルタを用い, 400Hzでサンプリングを行った。4対の電極を, 第5, 第6頸椎間と第2, 第3腰椎間の高さに, 体幹の正中線を挟んで左右30mm外側に貼り付けた。対となる電極間の距離は25mmであった (Fig.4)。

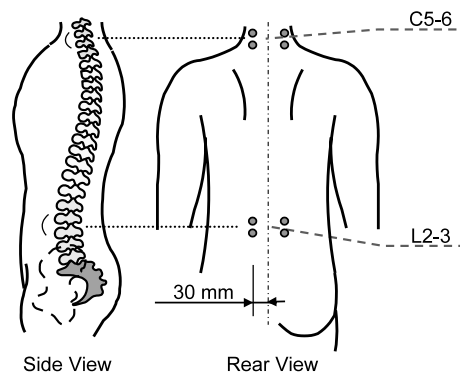


Fig.4 Placement of EMG Electrodes

筋電データ解析については, まず異なる実験日に計測した同一個人の内二条件のデータを個人内で次のように標準化した。各実験日において, テスト前に首・腰それぞれ同一負荷時の筋電を20s間計測し, そのデータの振幅の絶対値の平均振幅を算出して, それを基準振幅値とした。同一負荷を与える方法は以下のとおりであった。首については, 参加者はまずFig.5左図のように台上に胸をつけ, 背中から首にかけて水平になるような姿勢をとって両腕は自然に下におろした。そして両耳を結ぶ線上に3kgの錘をつけてベルトをかけ, 首を水平に保ったままの姿勢で保持した。腰については, Fig.5右図のように両足を揃えて立ち, 背中の前傾角度を30°にして腕を下方に自然におろした状態で, 15kgの錘を手で提げた。その際, 腕の力ではなく腰の力で支えるよう教示した。

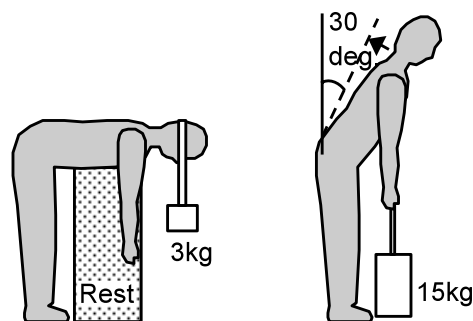


Fig.5 Postures to Measure Standard EMG Amplitude for Neck (Left) and Back (Right)

90分間着座中の全ての筋電データを、絶対値化した後、5分毎に区切ってその区間の平均振幅を求めた。個人内での標準化のため、この5分ごとのデータを基準振幅値に対する比率で表した。参加者間のばらつきの影響を排除するために、個人内で標準化したデータを、参加者ごとの両条件の全データの平均を用いて、5分ごとの系列データの平均が0、標準偏差が1になるzスコアとして標準化した。

統計検定：主観評価については、対応のある両側t検定を行った。筋電データについては、5分毎のzスコアについて実験前半45分と後半45分にわけて平均値を算出し、シート条件(2水準)×時間(2水準)の2要因分散分析を行った。いずれも有意水準はprobability(p)<.05とした。

(2) 結果と考察

主観評価結果：Fig.6は身体各部位の痛みや痺れに加え、全体的なリラックス感の評価点を縦軸にとったグラフであり、低いほど良い評価であることを示す。項目ごとに条件間で評価点の比較を行ったところ、痛みや痺れの程度に関して全ての部位において、装備を使用したほうが低いことがわかった。リラックス装備を使用したほうが、使用しない場合と比較して身体的に楽であり、その結果全体的なリラックス感も高かったといえる。特に首、肩については統計的に有意な差が認められた(p<.01)。これはヘッドレストで適切に頭を支持する重要性を示しているといえる。自力で頭を支えるために僧帽筋を使用しているため、首だけでなくとどまらず肩まで装備の効果が影響している。一方で、腰から脛脛にかけて、身体の下の方では、主観評価に条件間で統計的に有意な差が得られなかった。この理由として、もともと腰はバックレストを倒してもたれかかるメリットが大きい部位であるために、装備を使用しない場合でも45°までバックレストを倒すことで、倒さない場合と比較して楽であることが挙げられる。尻や大腿についても同様で、バックレストの倒し角を大きくすることがクッション上での尻下や大腿部にかかる圧力を両条件ともに減少させる。とはいえ、座角を上げることはバックレストにかかる荷重をより増加させ、尻下や大腿部にかかる圧力の更なる低下をもたらす。よって主観的にも多少の座角の効果が得られると考えられるが、それが装備を使用した方が尻や大腿部についての評価点が良い傾向(p<.10)として表れた。脛脛に関しては、この部位に効果が期待される装備はオットマンである。しかし本実験のノーマル条件のようにクッション前側チルトを使用しない場合は、もともと膝裏の過剰な圧迫が生じていない。よって、オットマンを使用した場合の効果が、装備を使用しない場合との比較ではさほど明確にならなかったと考えられる。全体的なリラックス感についても、装備を使用したリラックス条件のほうが、有意にくつろぎ感が高いことがわかった(p<.05)。

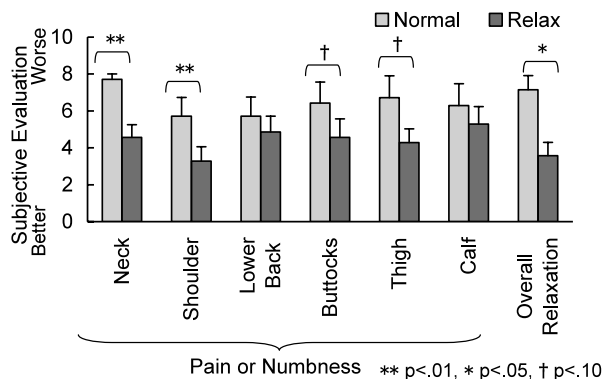


Fig.6 Subjective Evaluation Scores in Test 1

筋電結果：Fig.7は首、腰、それぞれの筋電について、標準化した振幅値の平均を縦軸にとったグラフである。統計的検定の結果、首については右側で条件の主効果が得られ(右首:p<.05)、装備を使用したときに筋電の振幅が低かったことが示された。バックレストを後傾させることで首の筋負担が生じることにに対し、ロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレストが頭部を効果的に支えるため、首の筋力で支える必要がなかったことが確認されたといえる。一方、腰の筋電については、左右いずれの筋電においても、条件の主効果が得られた(左腰:p<.01, 右腰:p<.01)。装備を使用した場合に使用しなかった場合と比較して、有意に振幅が低かったことから、座角の増加が腰の筋活動を低減させたことが示された。つまりポデーアングルが大きくなることによって生じる不快な状態に対応するための腰部の筋負担が低減したといえる。

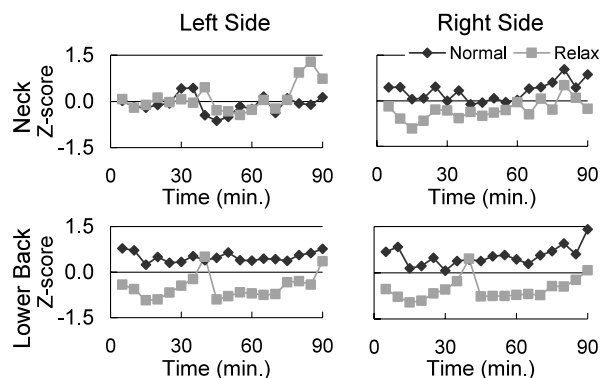


Fig.7 Average of Normalized EMG Amplitude

以上のように、主観評価結果や、筋活動の結果より、ヘッドレスト、クッション前側チルトについては、期待したとおりの効果が得られたことが確認できた。

4.2 実験2

実験2では実車走行評価において、全ての装備の使用による精神的なリラックス効果や脳波によって検証した。また、オットマンの効果を、足先の血流を測定して確

認した。

(1) 方法

参加者：男性7名，女性4名（身長156cm～180cm，体重46kg～70kg，年齢23～45歳）が実験に参加した。

装置：脳波と眼球運動の計測のために生理計測装置（Biopac systems, Inc., MP100 system）を，血流計測用にレーザドップラー式血流モニタ装置（Moor Instruments, MoorLAB）を使用した。2列目席にリラックス装備を備えたミニバンタイプの車両を使用した。

手続き：各参加者はリラックスとノーマルの両条件に参加し，1日に1条件で走行中の車両でシートに90分間着座した。朝8:00～，昼13:00～，夕方16:00～の3つの時間帯に実験を設定した。個々の参加者について，初回から1週間後の同じ曜日に，別の条件を同じ時間帯で実施した。条件の順序は，被験者間でカウンタバランスを取った。各参加者に対し，両日とも実験前日は同じ時間に就寝し，当日は同じ時間に起床すること，実験前日から激しい運動は控えることを教示した。

主観評価：90分間のテスト後に，首，腰，尻，大腿，脛脛について痛みもしくは痺れを「全くない」の0から「極端に強い」の10までで，全体的なリラックス感を「非常にくつろいだ」0から「全くくつろげなかった」10までで評価してもらった。

血流測定：血流は左足の親指と人差し指の付け根の間にセンサを貼り付けて測定した。最終的に，センサの脱落等で両条件のデータが揃わなかった4名を除いた7名を分析対象とした。血流量については個々のデータについて5分ごとにその5分間の平均値を算出した。参加者間のばらつきの影響を排除するために，参加者ごとに両条件の全データの平均を用いて，5分ごとの系列データについてzスコアを求めて標準化した。

脳波：脳波については国際10-20法に基づいて，Cz部位からA1を基準として，Oz部位からA2を基準としてAg-AgCl表面電極を用いて計測した。0.3-35.0Hzのバンドパスフィルタを用いて，400Hzでサンプリングを行った。上下左右の眼球運動についてはAg-AgCl表面電極を両眼角外10mmの場所に，左を上側，右を下側に10mmずらして双極導出した。解析に際し，Cz部位の脳波を指標として，国際睡眠段階判定基準⁹⁾に基づき30sごとに睡眠段階を判定した。参加者ごとに条件別に睡眠経過図を作成した。両条件について，入眠潜時，段階2睡眠潜時，睡眠効率，段階2睡眠率，中途覚醒数，最大睡眠持続時間という睡眠変数を参加者ごとに算出した。

(2) 結果と考察

主観評価結果：Fig.8は身体各部位の痛みや痺れと，全体的なリラックス感の評価点を縦軸にとったグラフである。首，腰，尻では装備を使用した方が有意に痛みや痺れが小さかった（ $p<.01$ ）。大腿や脛脛では主観的には統計的

に有意な差は得られなかった。全体的なリラックス感に関しては，装備を使用したほうが，有意にくつろぎ感が高いことがわかった（ $p<.01$ ）。実験1と同様に，リラックス装備を使用することにより，使用しない場合と比較して，身体的な不満が少なく，リラックス感が高かった。特徴的であったのは，実験1では5%水準で統計的に有意な差が認められなかった腰や尻についても装備の使用により痛みや痺れが有意に少なかったことである。静的な実験室の評価と比較して，実際の走行による振動や加減速Gの入力がある走行実験では，臀部の前方向へのずれも生じやすくなるため，より座角を大きくする効果が認められやすかったと考えられる。

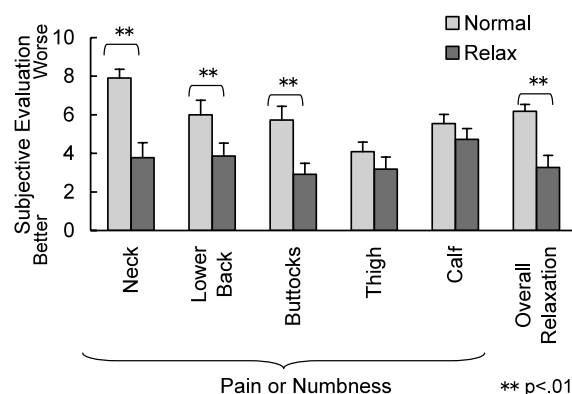


Fig.8 Subjective Evaluation Scores in Test 2

血流結果：Fig.9に5分ごとの標準化した血流量について，全参加者の平均の変化を示した。これを見ると，装備を使用したほうが，使用していない場合より実験時間全体を通じて血流量が多かった。前後半にわけて条件×時間の2要因分散分析を行った結果，条件の主効果が得られ（ $p<.05$ ），装備を使用した方が足先の血流量が有意に多かったことが示された。実験1で述べたように，座角を上げない場合は膝裏の過剰な圧迫が生じないため，オットマンの必要性があまりない。しかし一方で，オットマンを使用して膝角度をより広く保てば，足先からの血液の戻りはよくなることが期待できる。本実験の結果から，オットマン使用時には足先の血流が良くなることがわかり，期待どおりの効果が得られたことが確認できた。

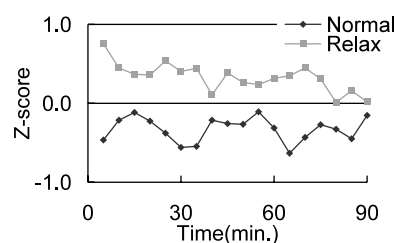


Fig.9 Average of Normalized Blood Flow

脳波分析：2名分の被験者の睡眠経過図をFig.10に例示した。いずれにおいても、装備を使用したほうが入眠潜時が短く、使用しないと特に実験時間の後半で、覚醒が頻繁に生じていることが確認できる。各睡眠変数について、Table 1に示した。いずれの変数とも、条件間に統計的に有意な差が認められた。入眠潜時、段階2潜時ともに装備を使用したほうが短く、睡眠効率、段階2出現率ともに、装備を使用したほうが高い。装備を使用したほうが、中途覚醒回数が少なく、最大睡眠持続時間も長い。この結果は以下のように説明できる。装備を使用することで筋脱力が可能になったことがリラクゼーションを促進し、脱力した後の姿勢が適切に保たれることにより、身体的な負担による痛みなどが生じないため、リラックス状態が長く維持される。

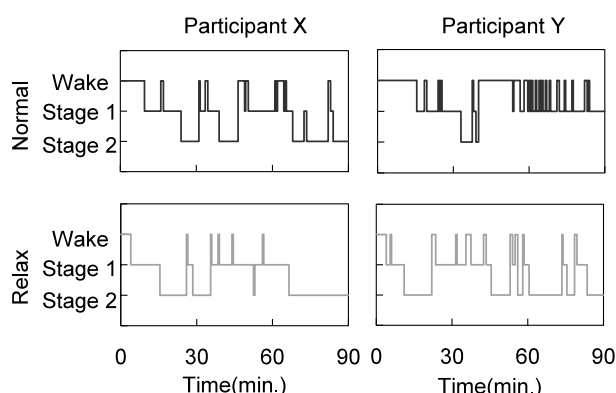


Fig.10 An Example of Hypnograms of Two Participants

Table 1 Sleep Variables

	Normal	Relax	
Sleep Onset Latency (min.)	6.5	3.8	*
Stage 2 Sleep Latency (min.)	23.0	11.8	*
Sleep Efficiency (%)	77.9	91.3	**
Stage 2 Sleep Ratio (%)	37.7	58.3	*
Sleep Interruption Frequency	10.5	5.1	**
Max. Sleep Duration (min.)	29.0	48.9	**

** p<.01, * p<.05

5. おわりに

本研究では乗員の快適性にとって重要な要素としてリラックスに着目した。筋脱力という身体的なリラクセスが精神的なリラクセスを促進すると考えて、筋脱力を可能にするための装備を提案した。更に提案した快適装備の効果について主観的な評価だけでなく、脳波や筋電、血流などの生理指標を用いて検証を行った。

実験1,2の主観的な評価結果より、装備を利用した方が、身体的な不満が小さく、リラックス感も高いことがわかった。更にそれを裏付ける客観的な実験結果を生理学的に示すことができた。リラクセスの前提条件になると考えられ

た筋脱力は、ロア・サイド部ボルスタ付ヘッドレストとクッション前側チルトを使用した場合に頸部と腰部の筋電振幅が小さいことにより示された。また、座角を大きくすることによる膝裏の圧迫は、オットマンの使用により回避されることが血流の結果によって明らかにされた。装備の使用はこのように身体的な負荷を低減させたが、精神的にも装備を使用した方が、リラックスが促進され、更にその維持も長く続いたことが脳波によって客観的に示された。つまり、最初に考えたように、装備の使用による筋脱力という身体的なリラクセスが精神的なリラクセスの程度を高めるために重要なポイントであったことが確認できた。

以上のように、本研究は乗員のリラックスした状態を助けるために提案したシート装備の生理学的な効果について明らかにすることができた。

参考文献

- (1) BJG.Åndersson et al. : Lumbar Disc Pressure and Myoelectric Back Muscle Activity during Sitting. - I. Studies on an Experimental Chair, Scand. J. Rehabil. Med., Vol.6, p.104-114 (1974)
- (2) BJG.Åndersson et al. : Lumbar Disc Pressure and Myoelectric Back Muscle Activity during Sitting. - IV. Studies on a Car Driver's Seat, Scand. J. Rehabil. Med., Vol.6, p.128-133 (1974)
- (3) AN.Nicholson et al. : Influence of back angle on the quality of sleep in seats, Ergonomics, Vol.30, p.1033-1041 (1987)
- (4) A.Rechtschaffen et al. : A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, Washington DC, Public Health Service, U.S. Government Printing Office(1968)

著者



道田奈々江



元吉菜緒子



宮原民夫