

2023 年度
共同研究報告書

VDT 症候群に対する水素吸入のプラス効果の検証

2024 年 4 月 30 日

摂南大学 理工学部 機械工学科

川野 常夫

目次

1. はじめに	1
2. 研究の社会的・学問的意義	2
3. 水素吸入器	3
4. 研究の安全性について	3
4-1 水素ガスの可燃性に対する安全性	3
4-2 酸素ガスの可燃性に対する安全性	4
4-3 水素ガス・酸素ガス吸引による人体への影響	4
5. 研究方法	4
5-1 実験デザイン	4
5-2 被験者	6
5-3 VDT 作業の設定	6
5-4 測定項目と実験手順	7
5-5 主観的評価	8
5-6 唾液アミラーゼによるストレス測定	10
5-7 目の周辺のサーモグラフィ測定	10
5-8 目の充血度の測定	11
5-9 目の遠近調節時間の測定	12
5-10 フリッカー検査	12
5-11 姿勢測定	13
6. 実験結果と考察	14
6-1 主観的評価の結果	14
6-2 唾液アミラーゼによるストレス評価の結果	16
6-3 目の周辺温度評価の結果	16
6-4 目の充血度の測定結果	17
6-5 目の遠近調節時間の測定結果	20
6-6 フリッカー検査の結果	21

6-7 姿勢測定の結果	21
6-8 作業効率の結果	24
7. おわりに	24
参考文献	27

1. はじめに

昨今、「水素医学」という用語で代表されるように、生体内において抗酸化作用や抗炎症作用、抗アレルギー作用などがあると言われている水素ガスの医学研究が盛んに行われるようになった[文献 1]。また、例えば、がん免疫サイクルにおいて、水素ガスは疲弊 T 細胞による免疫抑制を解除して、オブジーボ(免疫チェックポイント阻害剤)の効果を増強する、すなわち水素ガスはがんに対する免疫効果を高めると考えられている[文献 2]。そのほか、昨今の COVID-19 による肺炎治療において、免疫細胞が暴走し正常な細胞まで攻撃するサイトカインストームなどの急速な炎症へ水素ガスが一定の効果を上げることが認知されてきている。また、水素ガスは抗がん剤治療中の副作用軽減やがんそのものの進行抑制にも役立つと考えられている[文献 3]。さらに、水素は標的臓器(細胞)に直接働きかけて、あるいは臓器連関を介して間接的に働きかけて、免疫系と自律神経系の両方によい影響を与えるということが実験により確かめられている[文献 4]。他方、世界的には動物やヒトを対象として、水素の主に医学的効果を調査する 350 を超す研究論文が発表されている[文献 5]。これらの研究は、日常的に体内に生成される活性酸素種や酸化による有害な作用、すなわち酸化ストレスを水素が除去する特性に基づいている。

このような水素ガスの吸入は医学研究だけでなく、すでにクリニックや接骨院などでも患者に提供されているほか、個人ユース用に吸入用の水素ガス発生装置が数種類市販されており、一般に使用されるようになった。また、深海へのダイバーの潜水病(減圧症)の治療として、再圧チェンバーという空間で酸素を吸入した際に大量に発生する活性酸素を除去するために、古くから水素ガスの吸入が行われてきた。一方、わが国では水素分子を食品に用いることが 1995 年に認可され、2004 年には水素水の販売が既に認可されている。また、水素を溶解させたお湯に入浴すると 10 分間で皮膚を通過、全身に水素が行き届くことが示されている[文献 6]。例えば、サッカー選手が水素水を飲むことで激しい運動中の血中乳酸レベルの上昇が抑制され、同時に筋疲労も軽減されることが示された[文献 7]。また、マウスに水素水を摂取させることで、酸化ストレスによる学習・記憶・空間認知の認知機能障害を抑制できることが示された[文献 8]。

これらの知見から、水素は筋疲労だけでなく、精神性疲労にも効果があるのではないかと考えられる。また、水素により酸化ストレスが除去され認知機能が向上するならば脳血流が増加するのではないかと考えられる。本研究の研究担当者は 2020 年に、医学面ではなく人間工学の立場から水素ガス吸入中に生体計測を行う研究を実施し、人の疲労回復や脳血流に効果がある可能性を見出した[文献 9]。

本研究では、先行研究に引き続き人間工学の立場から、新たに VDT 症候群に対する水素吸入の効果を検証する。VDT 症候群とは、VDT (Visual Display Terminal) すなわち、コンピューターのディスプレイなど表示機器を使用した作業を長時間続けたことにより、目の視力低下や眼精疲労、あるいは首・腰・肩こり・手指のしびれなどの体のほか、イライラ

や不安感など心にも生じる症状のことである[文献 10~17]。ノートパソコンやスマートフォンの普及はもとより、昨今ではコロナ禍によるテレワークや web 会議の普及にともない、以前より VDT 症候群が増加傾向にある[文献 18~20]。また小学校から大学まで ICT や VDT を利用した授業が増え、厚労省や文科省は VDT の一連続の作業時間が 1 時間を超えないことや画面と周辺明るさの差を小さくすること、同じ姿勢を長時間続けないなどのガイドラインを設定した[文献 21]。このように VDT 作業ならびにその弊害が増加している現状において、水素吸入が VDT 症候群の緩和に効果があれば社会で活動する現代人にとって朗報となる。

本研究では、被験者を水素ガス吸入群と単なる空気を吸うダミー吸入群に分け、それぞれ生体計測を行って VDT による症候の程度を比較する。また、時期を変えて水素ガス吸入群とダミー吸入群を入れ替えるクロスオーバー試験も実施する。生体計測の項目として、目の疲労や心身の異常などの主観評価、ストレス測定、目の周辺の皮膚温、目の充血量合いや遠近調節力、フリッカー検査、姿勢測定、作業効率などを取り上げる。

これらは、人間工学の分野で頻繁に用いられる測定法であり、水素ガスの吸入を含めて、本研究は病気の診断、治療などを行う臨床研究ではない。

2. 研究の社会的・学問的意義

ICT 技術の発展に伴い、製造業や運輸業、医療保険業、保健衛生業、サービス業などでは、VDT (Visual Display Terminal) 作業、すなわち、コンピューターやタブレット、スマートフォンなどのディスプレイといった表示機器を使用した作業が増えてきている。特に 2019 年からのコロナ禍 (Covid-19) では、企業や団体はもとより、小学校から大学までの教育機関においてもリモートワーク、リモート授業が増え、日常において VDT を利用する時間が圧倒的に増加した。2023 年からはコロナ禍が終息に向かっているが、職場や学校に普及した ICT ツールの活用はコロナ禍以前に比べて増えているのが現状である。このような VDT 作業では、作業を長時間続けたことにより、目の視力低下や眼精疲労、あるいは首・腰・肩こり・手指のしびれなどの体のほか、イライラや不安感など心にも生じる症状 (VDT 症候群) が現れ、昔から多くの研究が行われてきた[文献 10~17]。昨今、VDT 作業が増加していることに伴い、VDT 症候群も増加している[文献 18~20]。このことはすなわち、企業や学校などにおいてパフォーマンスの低下や病欠などによる生産性の低下を誘発するほか、ヒューマンエラーや事故を誘発することにもつながっている。目や心身の疲労の回復のためには通常、休憩時間が設けられているが、職種によっては休憩時間だけでは疲労が回復せず、翌日まで疲労が残るケースもある。その他の疲労回復には、食事療法や適度な運動が有効とされているが、それらだけでは十分とは言えない。昨今、「働き方改革」を実践していく上で、従業員の健康管理から生産性向上へのアプローチをしていく「健康経営」という考え方が増えてきている。

このような状況において、人間の「疲労」を効果的に回復する方法を導くことは社会的意義が高いと考えられる。

また、前章にも記載したように、水素ガスに関する多くの研究成果から、疲労回復や血流改善、筋肉痛の緩和などに水素の効果が期待され、クリニックや接骨院、スポーツ界などにおいて水素ガス吸入が活用されてきている。近年、高山病の予防や眠気覚ましなどに携帯酸素スプレーによる酸素吸入が行われるように、水素を吸う時代がやってきたとも言える。しかし、水素がVDT症候群に効果があるといった科学的根拠を示す研究はなく、その科学的根拠を示すことができれば学問的にも意義が高いと言える。

3. 水素吸入器

図1に本研究で用いた水素吸入器 コアップ SA-2600 (アトラグループ製)を示す。この装置は、基本的には水を電気分解し、発生した水素と酸素を管(鼻腔カニューラ)を通して鼻腔へ送るものである。この装置のガス発生量は水素と酸素を合わせて毎分 2600ml である。水素濃度は約 66.6%である。

4. 研究の安全性について

4-1 水素ガスの可燃性に対する安全性

水素は空気中の濃度が 4.1%~78%になると可燃性となるが、通常の実験室を密閉して、

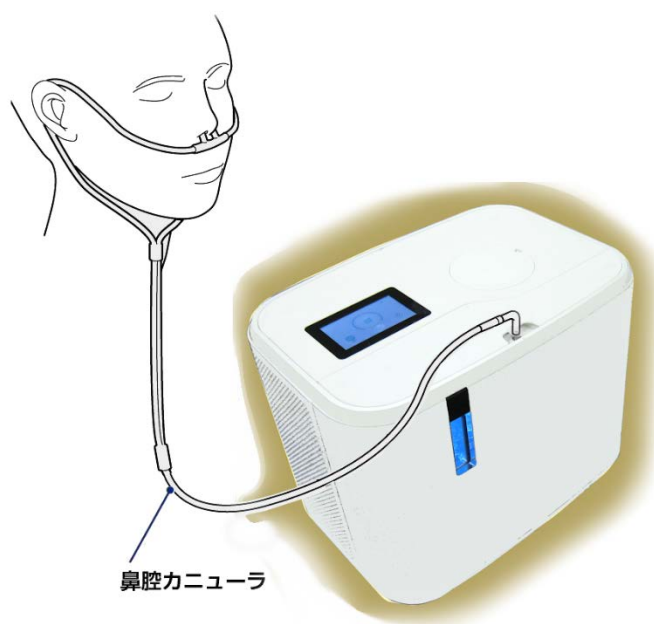


図1 水素吸入器 コアップ SA-2600 (アトラグループ株式会社)

水素吸入器を約 21 時間連続に稼働し続けなければ 4.1%に達しないとされており、予定している 1 時間以内の稼働では室内に水素が滞留することはなく、安全である。また、水素が噴出している配管口に火を近づけた場合でも、微量の水素が燃焼し、音は発生するが火が放出されることはない。

4-2 酸素ガスの可燃性に対する安全性

酸素は空気中に約 21%の割合で存在する。酸素自体は燃えるものではなく、他の物質を燃やす支燃性があり、物質にもよるが、発火源があればその物質は通常の燃焼を起こす。水素吸入器から出る水素は微量 (29ml/秒) であるため、点火してもどこかに引火することはない。酸素の量も微量であるため空気中の酸素濃度に大きな変化はない。仮に酸素が一カ所に溜まり、空気中の酸素濃度が 70%以上の過剰濃度になると爆発の危険もあるが、通常の換気を行って行けば、そのような状況になることはない。実験室では、窓を開け、換気扇を作動させることとする。

4-3 水素ガス・酸素ガス吸入による人体への影響

水素は、相対的に酸素が少なくなると窒息を起こす場合を除き、人体には無害である。水素ガス吸入や水素水の摂取に関する論文が 350 件以上発表されているが、悪影響に関する報告はなく、先述のとおり潜水病の治療として水素ガスの吸入や、クリニックや接骨院などにおける提供などから、人体への悪影響は極めて少ないと考えられる。

5. 研究方法

5-1 実験デザイン

本研究では、水素ガスの吸入により VDT 症候群の回復や作業効率の改善に効果があるか否かを明らかにするため、被験者が VDT 作業中に水素ガスを吸入するときとしないときの 2 条件において、主観的および客観的な生体計測を行い、効果の有無がわかるような実験設計を行う。

水素ガスを吸入するためには、図 1 に示すように、鼻腔カニューラ(管)を鼻に装着する。このようなことは普段しないため、鼻腔カニューラを装着するだけでプラセボ効果により、疲労や血流の変化が生じることが考えられる。また、水素吸入器に電源を入れると、モーターの回転音が騒音として被験者に伝わる。そこで、水素ガスを吸入するしないに関わらず、被験者には同じ状態をセッティングするようにし、被験者は鼻腔カニューラを装着したままとし、装置の電源も入れて回転音が発生したまま、図 1 の水素吸入器にカニューラを接続する場合としない場合の切り替えを行うこととする。

本研究の目的は水素の効果を検証することであるが、一般に新薬の効果を検証するときには、表 1 に示すプラセボ対照試験が行われる。これは被験者を対照群と治療群に分け、対

表 1 水素ガス吸引の効果を検証するための方法論

プラセボ対照試験	薬の臨床試験において、被験者を対照群と治療群とに分け、対照群には外見では見分けられないプラセボ（偽薬）を割り付ける試験のデザイン プラセボでも本物と思って飲めば・・・> 暗示効果, プラセボ効果
単盲検	対照群と治療群の効果の違いを見る（患者側に目隠し状態）
二重盲検	医療者側も本物かプラセボかわからないようにする （患者側も、医療者側も目隠し状態）
無作為割付 （ランダム化）	くじ引きや乱数表によって、ランダムに対照群と治療群に分ける
クロスオーバー	同一患者に時期を変えて異なる薬物を投与する試験

※出典：ディベックス・ジャパン： <https://www.dipex-j.org/clinical-trial/topic/characteristic/design>

照群には外見では見分けられないプラセボ（偽薬）を服用させる試験デザインである。水素は無味無臭であるため、本研究の実験においても水素を吸入する群と単なる空気（プラセボ）を吸入する群に分け、被験者にはどちらを吸入しているか分からないようにするプラセボ対照試験をデザインする。被験者には水素か空気かが分からないが、実験の準備や段取りが必要であるため、実験者はどちらであるかはわかる状態で実験を行う。表1の単盲検に相当する。また本実験では、同一被験者に時期を変えて水素吸入と空気吸入の両方を行ってもらったこととした。表1のクロスオーバーに相当する。実験の時期や順序はランダムに設定した。表1の無作為割付に相当する。

図2にプラセボ対照試験の実験デザインを示す。プラセボ条件は単に室内の空気を管から吸入しているだけとし、この条件を「ダミー吸入」と呼ぶ。このとき水素吸入器から発生する水素は別の管を接続することによって、被験者から離れた場所へ放出する。被験者に水

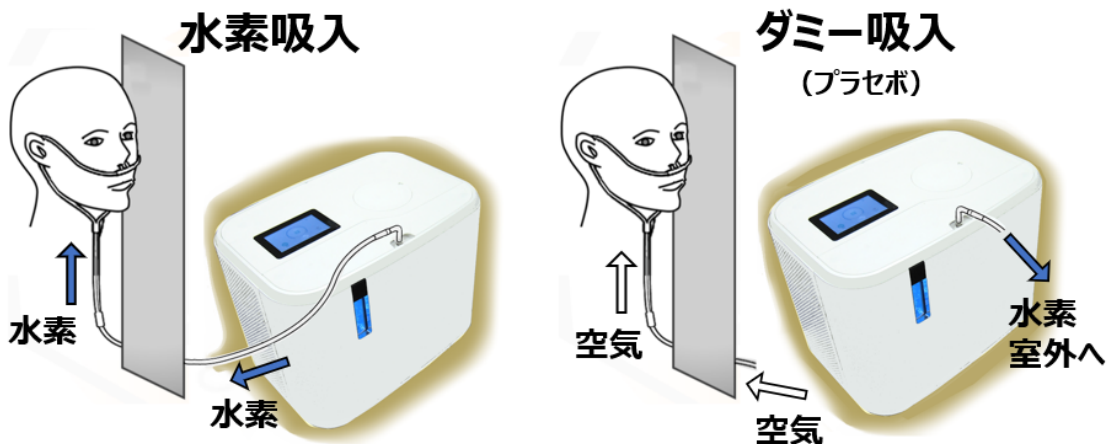


図2 プラセボ対照試験の実験デザイン

素か空気かがわからないようにするため、水素吸入器を被験者の背後に置き、管の接続部分をタオルで覆って見えないようにする。水素吸入とダミー吸入の切り替えは実験者が行い、被験者にはこの操作もわからないようにする。すなわち、水素吸入器の駆動音が聞こえる間はカニューラから水素を吸入しているものと認識することになる。

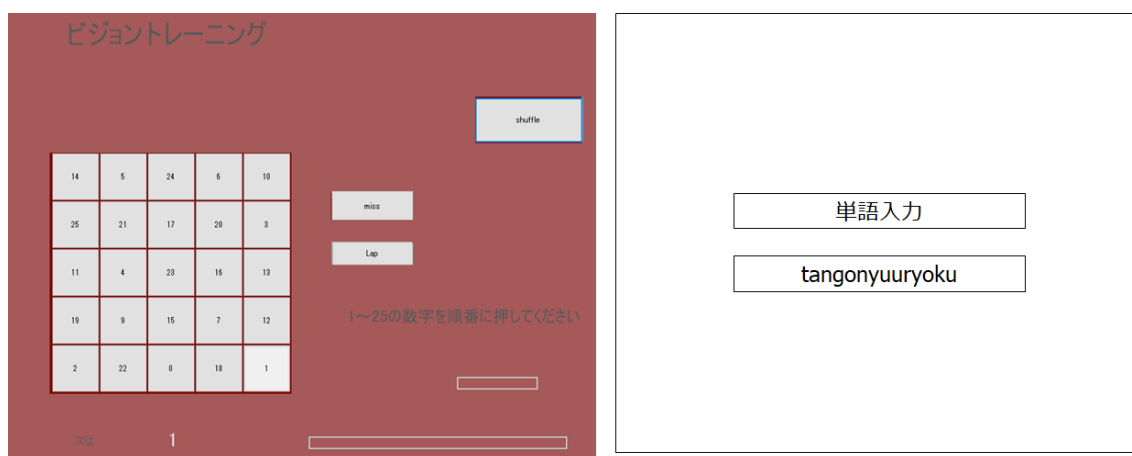
5-2 被験者

被験者は 19～23 歳の健常な大学生男女 11 名とした（体重：57.7±5.4 kg，身長：172.1±5.3 cm）。実験協力の依頼と実験開始にあたっては、全被験者に対して実験に関する十分な説明を行い、同意した後でもいつでも辞退できることを認識してもらったうえで、インフォームドコンセントを得た。なお、本研究は 2023 年 4 月 26 日付で、摂南大学人を対象とする研究倫理審査委員会から承認を得たあとで具体的に実施した（承認番号 2023-005）。

各被験者には次節に示す VDT 作業を日を変えて複数回実施してもらった。VDT 作業中にダミー吸入（空気）を行うか、水素吸入を行うかは実験者がランダムに決めた。前述のとおり被験者にはそのような違いがあることを告げず、いずれの吸入条件においても被験者はカニューラを鼻腔に装着し、水素吸入器から駆動音が聞こえるという同じ条件下で VDT 作業を行う。VDT 作業の実施回数は、全被験者でダミー吸入（空気）条件で合計 40 回、水素吸入条件で合計 46 回であった。総計 86 回の実施となり、被験者 1 人あたり平均 8 回の実施となった。

5-3 VDT 作業の設定

図 3 に本研究で取り上げた 2 種類の VDT 作業を示す。被験者は 1 日に 1 回どちらかの作業を行うようにした。いずれも作業時間は 30 分間とした。2 種類のうち 1 つは図(a)に示すビジョントレーニングと呼ばれるもので、1 から 25 までを表記されたタイルを 5 行 5 列の正方形状にランダムに並べ、1 から順にマウスでクリックしていく作業である。画面下方



(a)ビジョントレーニング（ランダムに並ぶ 1～25 を順にクリック） (b)タイピング作業（表示される単語をタイピング）

図 3 本研究で取り上げた 2 種類の VDT 作業

には次にクリックする数字が表示されるようになっていて、間違った数字をクリックするとその表示は変わらない。最後の25の数字をクリックすると数字の配列がランダムに入れ替わり、再度、数字の1からクリックをしていく。被験者にはこのような作業を30分間連続して行ってもらった。成績を評価するため、30分間で1から25まで何周繰り返したかの周回数とクリックのミスの回数を記録した。30分



図4 VDT作業の様子

間という短い時間であるため、身体や成績への影響が大きくなるように表示文字サイズをあえて小さくし、背景色は赤褐色とした。これらの条件については、事前に種々の組み合わせを用意して試行し、最も影響の大きい組み合わせとした。

もう1つのVDT作業は図(b)に示すタイピング作業である。画面中央に表示される単語を下段のローマ字どおりにローマ字入力していくものである。VDT作業の中でタイピング作業は最も基本であり、作業頻度も高いために取り上げた。入力が正しく終わると次の単語が表示されるようになっており、被験者には30分間連続して行ってもらった。成績を評価するためには、ローマ字単位の入力文字数とタイピングミスの回数を記録した。

図4に被験者がVDT作業に取り組んでいる様子を示す。被験者とディスプレイの間に幅60cmのテーブルを置いて一定の間隔を空けたが、目とディスプレイの間隔は被験者の自由とした。図4のように水素吸入器は被験者の背後に置いているため、被験者には水素吸入器およびカニューラの接続状態は見えない。被験者はカニューラを鼻腔に装着して作業に取り組んだ。

表2 生体測定的项目と方法・機器

5-4 測定項目と実験手順

VDT症候群に対する水素吸入の効果調べるための生体測定項目と方法・機器を表2に示す。測定項目はアンケート形式による主観的評価と各種測定機器を用いた客観的評価を取り上げた。客観的評価は唾液アミラーゼによるストレス測定、サーモカメラによる目の周辺

項目番号	測定項目	方法・機器
①	主観的評価	アンケート用紙に記入
②	ストレス	唾液アミラーゼ
③	目の周辺のサーモグラフィ	サーモカメラ
④	目の充血	ビデオカメラ
⑤	目の遠近調節時間	ノートPC
⑥	フリッカー検査	AQフリッカー
⑦	姿勢（作業中の矢状面）	デジカメ（AIカメラ）
⑧	作業効率	タイピングミスの割合

表3 生体測定 of 順序

順序	VDT作業開始前		VDT作業終了後	
1	①	主観的評価	⑦	姿勢（終了直前の作業中）
2	②	ストレス	③	目の周辺のサーモグラフィ
3	③	目の周辺のサーモグラフィ	④	目の充血
4	④	目の充血	②	ストレス
5	⑤	目の遠近調節時間	⑤	目の遠近調節時間
6	⑥	フリッカー検査	⑥	フリッカー検査
7	⑦	姿勢（開始直後の作業中）	①	主観的評価
8			⑧	作業効率 (作業出来高とミス回数の記録)

のサーモグラフィ（表面温度）、ビデオカメラによる目の充血度合いの撮影、ノート PC による目の遠近調節時間の測定、AQ フリッカーによるフリッカー検査、デジカメまたは AI カメラによる姿勢の測定を行い、最後に作業効率としてタイピングミスの割合を求める。以上、8 項目の測定を行う。

表3 に生体測定各項目の測定順序を示す。VDT 作業開始前は各種の測定自体が主観的評価に影響しないように最初に主観的評価を行う。⑤の目の遠近調節時間測定と⑥のフリッカー検査は集中力が必要であるため、それらがストレスにならないように最後に行う。VDT 作業終了後は作業による生体の変化を知る必要があるため、作業終了後すぐに③の目の周辺のサーモグラフィ、④の目の充血、②のストレスの測定を行う。このように測定自体が他の測定指標に影響しないように測定順序を設定した。

以上をまとめて実験の手順を図5 に示す。VDT 作業開始前には6 項目の生体測定を行い、開始直後に姿勢測定を行う。約30 分が経過し終了直前に同様に姿勢測定を行い、作業終了後に生体測定6 項目と作業効率の記録を行う。

5-5 主観的評価

次ページの図6 に主観的評価のためのアンケート用紙を示す。評価項目はA の目と精神

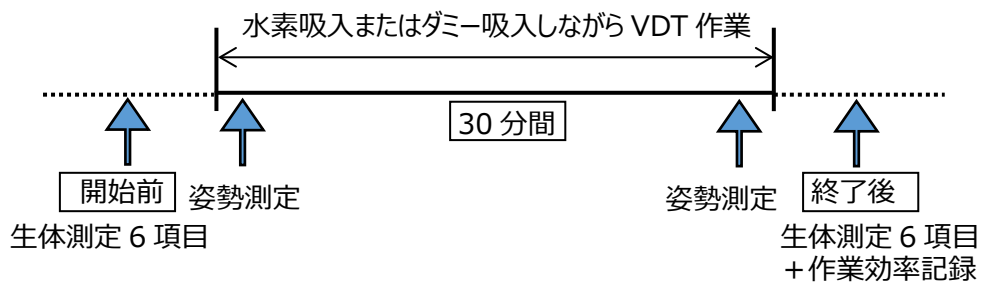


図5 実験の手順

作業 前 後

被験者番号
(記入不要)

条件
(記入不要)

実験参加者へのアンケート

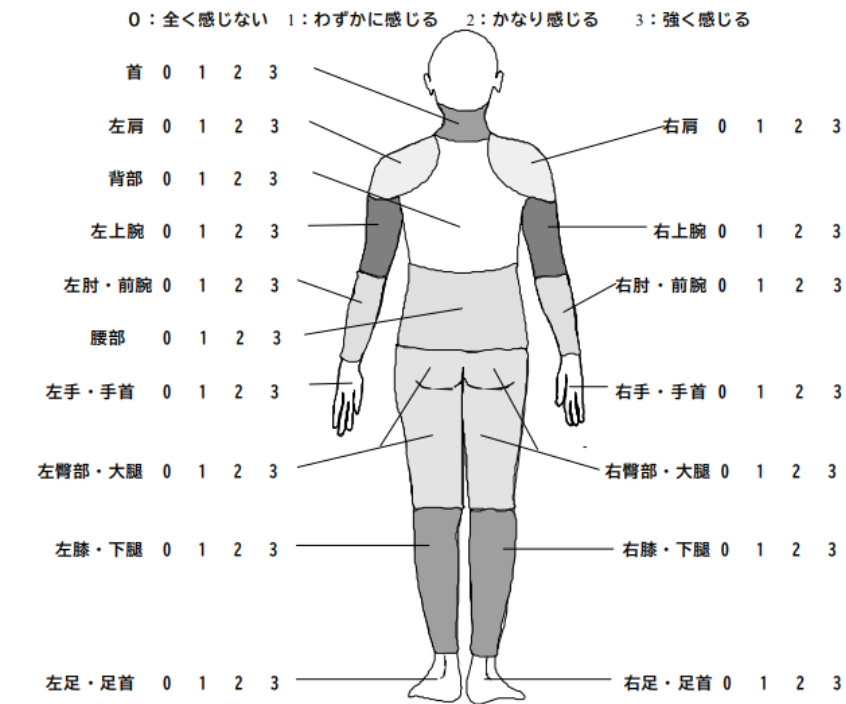
以下の項目について記入をお願いします。

記入日時 【 年 月 日、 時 分】
 年齢 【 】 歳
 性別 【 男 女 】
 体重 【 】 kg
 身長 【 】 cm

A 以下の項目について、次の4段階の中から該当する番号を【 】に記入してください。

- | | ① 全くない | ② 少し該当する | ③ ある程度該当する | ④ 非常に該当する |
|---------------------|----------|----------|------------|-----------|
| [1] 目が疲れている | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [2] 目が痛い | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [3] 目に違和感がある | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [4] 物がかすんで見える | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [5] 目が乾いた感じがする | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [6] 光がまぶしく感じる | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [7] 身体が疲れている | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [8] イライラ感がある | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [9] 不安感がある | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [10] 何もする気になれない | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |
| [11] 眠い (作業中、眠くなった) | 【 】 | 【 】 | 【 】 | 【 】 |

B 痛み、こり、だるさ、しびれについて、各部位のあてはまる番号に○をつけてください。



(日本産業疲労研究会産業疲労研究会選定)

図 6 主観的評価のためのアンケート用紙

状態の調査と B の身体各部の痛み、こり、だるさ、しびれの調査に分けた。それらの中の各質問項目は一般的に VDT 症候群と言われるものを取り上げた。作業の前後にこのアンケート用紙に基づいて各被験者に主観的に回答してもらった。用紙の左上には作業の前か後かを示す欄を設けた。実験者は右上に被験者番号と水素吸入かダミー吸入かの条件を後で記入するようにした。

5-6 唾液アミラーゼによるストレス測定

図 7 に示すように、人がストレスを受けると交感神経系が興奮し副腎皮質の血漿ノルエピネフリン (NE) が分泌され、血中の NE 濃度が上がり唾液アミラーゼが活性化する[文献 22]。一方、視床下部・下垂体・副腎皮質系においても人がストレスを受けると唾液のコルチゾール濃度が上がる[文献 23]。これらの反応を応用し唾液からストレスを推定する装置、唾液アミラーゼモニターが市販されている(図 8)。これは検査用のシート(検査チップ)を舌下に入れ、唾液を採取して唾液アミラーゼモニターにセットするとアミラーゼ活性値(ストレスの指標)が表示される。本研究では、VDT 作業の前後にアミラーゼ活性値を測定し、前後の差を比較することによってストレスを評価する。

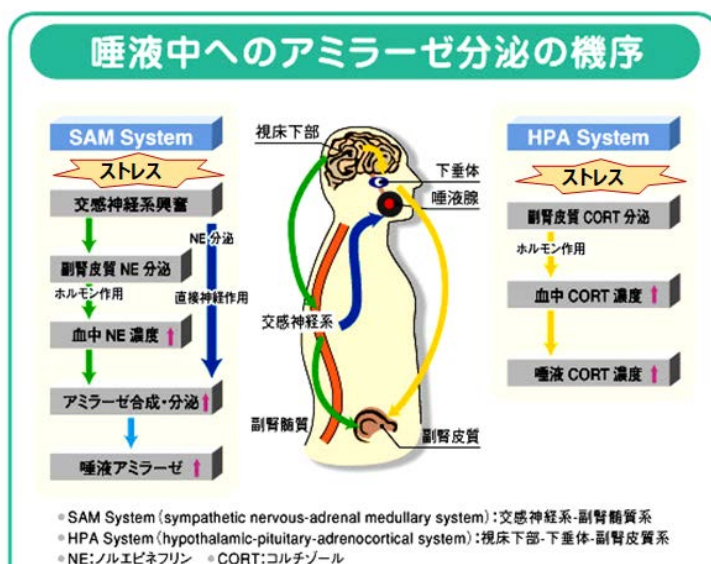


図 7 ストレスからアミラーゼ分泌への機序[文献 23]

5-7 目の周辺のサーモグラフィ測定

VDT 作業が目に与える影響を評価するため、目の周辺の皮膚温度を測定する。用いたサーモグラフィカメラは図 9 に示すサイトロンジャパン製の HIKMICRO B20 である。このカメラの仕様を以下に示す。

熱画像解像度: 256×192

温度分解能: 0.04℃

精度: ±2%

これを用いて VDT 作業の前後に



図 8 ストレス測定用唾液アミラーゼモニター (ニプロ製)

顔表面のサーモグラフィを保存しておき、事後に目の周辺の平均温度を求める。

5-8 目の充血度の測定

前節に続き、目に対する影響を評価するため目の充血度を求める。白目の表面部分をおおう薄い膜は、「結膜」と呼ばれ、そこには細い血管が通っていて、目が疲れると血管が拡張し浮き出ることによって白目部分が赤く見える。これが充血である。テレビやパソコンの画面を長時間見続けると充血するのは結膜や角膜（黒目部分）が酸素を多く取り入れようとするためである。



図9 サーモグラフィカメラによる顔表面の温度測定

充血の度合いは、目視で6段階にスコアリングされることが多いが、結膜の写真を画像処理によって血管を抽出し、関心領域に占める血管の面積の割合を求めることで定量化する試みがある[文献 24]。本研究では、同様に結膜の写真を画像処理し、関心領域に占める赤色成分の面積の割合(%)を求め、それを充血度と定義した。

目の写真をデジタルカメラで撮影すると、瞬きのタイミングと重なることがあるため、ここではデジタルビデオカメラ(パナソニック製 HC-VX2MS, 画素数 1920×1080)で目だけをズームして、約3秒間撮影した。

図10に撮影風景と充血度評価ソフトの使用状況を示す。評価ソフトでは、白目(結膜)部分を対象とし、マウスで2点を対角点とする四角形で囲み、充血度ボタンをクリックすると、四角形の面積に対する赤色成分の占める面積の割合(%)が求められる。図に示すように左右の目の4カ所の充血度を求め、それらの平均値を充血度として採用した。図の例はダミー吸入条件の作業後で、平均値が29.7%となっている。



図10 目の充血度評価のための撮影と評価ソフト

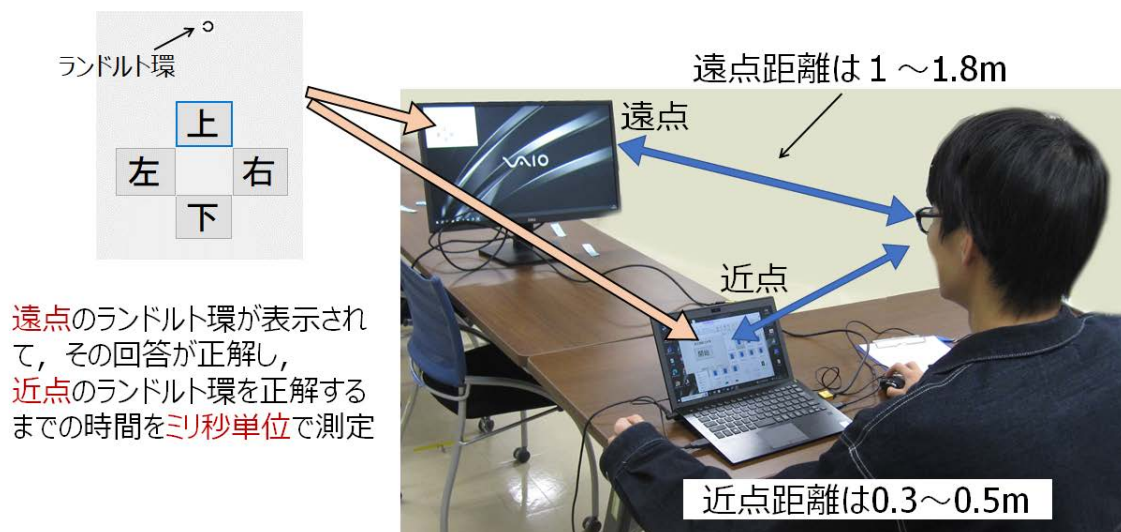



図 11 目の遠近調節時間の測定

5-9 目の遠近調節時間の測定

目は遠くを見たあと近くを見るためには、レンズの役目である水晶体を膨らませて網膜上に焦点を合わせる必要がある。目が疲労すると遠点から近点に水晶体を調節する時間が遅くなる。本研究では、遠点と近点のディスプレイに左右上下のランドルト環（)のいずれかが表示されるように用意し、まず被験者は遠点に焦点を合わせて待機し、遠点にランドルト環がランダムな向きに表示されると、その切れ目の向きを判断してマウスで左右上下のボタンを押して回答する。その回答が正解であれば近点にランドルト環がランダムな向きに表示されるので、その切れ目の向きを回答する。このとき、遠点のランドルト環が表示されてから、近点のランドルト環を正解するまでの時間をミリ秒単位で測定し、それを遠近調節時間と定義する。遠点と近点の目からの距離は、各被験者が視認できる距離を確認し、同一被験者では距離を一定とした。被験者によって遠点は1~1.8m、近点は0.3~0.5mの範囲であった。ランドルト環のサイズは一定としたが、被験者によって距離を変更したため、視力に換算すると0.3~0.7のサイズに相当した。

5-10 フリッカー検査

疲労の測定には図 12 に示すサイバークラフト製の AQ フリッカーテスター（以後、AQ フリッカーと呼ぶ）を用いる。簡易な疲労測定法として、古くからフリッカー検査が行われている。これは高速で点滅する LED 光を目で見て、点滅がわかるか、わからないかによって疲労度合いを調べる方法である。AQ フリッカーは点滅周波数が徐々に高くなる横一列の LED を見て、点滅のわかる LED と点滅のわからない LED の境界を見つけることによって、点滅のわかる最高周波数を求める装置である。測定結果は例えば、36Hz というように周波数の値で求められ、この値のことをフリッカー値と呼ぶ。一般に疲労すると、フリッカー値は低下する。また、フリッカー値は、人によっても、年齢によっても異なるため、作業によ



AQ フリッカーテスター

図 12 フリッカー検査

って疲労したかどうかは、作業前後の差の大きさ（相対値）で判定する。本研究では、VDT作業の前後に測定し、疲労度合いの変化を調べる。

AQ フリッカーは LED の点滅・非点滅の境界を 3 回繰り返して回答することによってフリッカー値が求められるようになっている。検査に要する時間は、おおよそ 30 秒である。本研究では、フリッカー値をさらに 3 回求めて、その平均値を採用した。

5-11 姿勢測定

30 分間の VDT 作業中、被験者の姿勢はどのように変化するかを検討した。いずれの被験者も短い間隔で体を動かすことはなく、VDT 作業に集中する様子であった。そこで、作業開始直後と作業終了直前の違いに着目し、CANON 製デジタルカメラ（ixy920is、画素数



作業開始直後



作業終了直前

図 13 姿勢測定

3648×2736) で各被験者の側面(矢状面)の写真を作業の開始直後、終了直前に撮影した。事後にビデオモーションキャプチャを用いて、それぞれの頭と胴体の傾斜角度(水平軸とのなす角度)を求め、作業前後で比較を行った。一部の被験者については、人の画像から身体各部の座標を自動で読み取るAIカメラを用いて、同様に傾斜角度を求め、ビデオモーションキャプチャとの違いがないことを確認した。

6. 実験結果と考察

6-1 主観的評価の結果

図14に目と精神状態について各被験者に主観的に評価してもらった結果を示す。図は作業前後の差について全被験者、全試行の平均を示している。作業前後の差は、作業後の値から作業前の値を引いたものであるため、縦軸のプラスは作業後に症状が大きくなったことを示す。逆にマイナスは作業後に症状が小さくなったことを示す。例えば、項目[1]の「目が疲れている」については、ダミー吸入の場合、約プラス0.4となっており、作業後に目の疲労が増加したことを意味している。一方、水素吸入では、約プラス0.05となっており、作業後に目の疲労は増加しているが、ダミー吸入と比べて小さいことを示している。項目ごとに統計的な検定を行って、p値が0.1未満のものについてp値を示し、さらに有意差がある場合は、p値の右肩に*の印を付している。項目[1]については、有意差の基準である0.05をやや上回っており統計的に有意差があるとは言えないが、水素吸入の場合が小さくなる傾向は認められる。

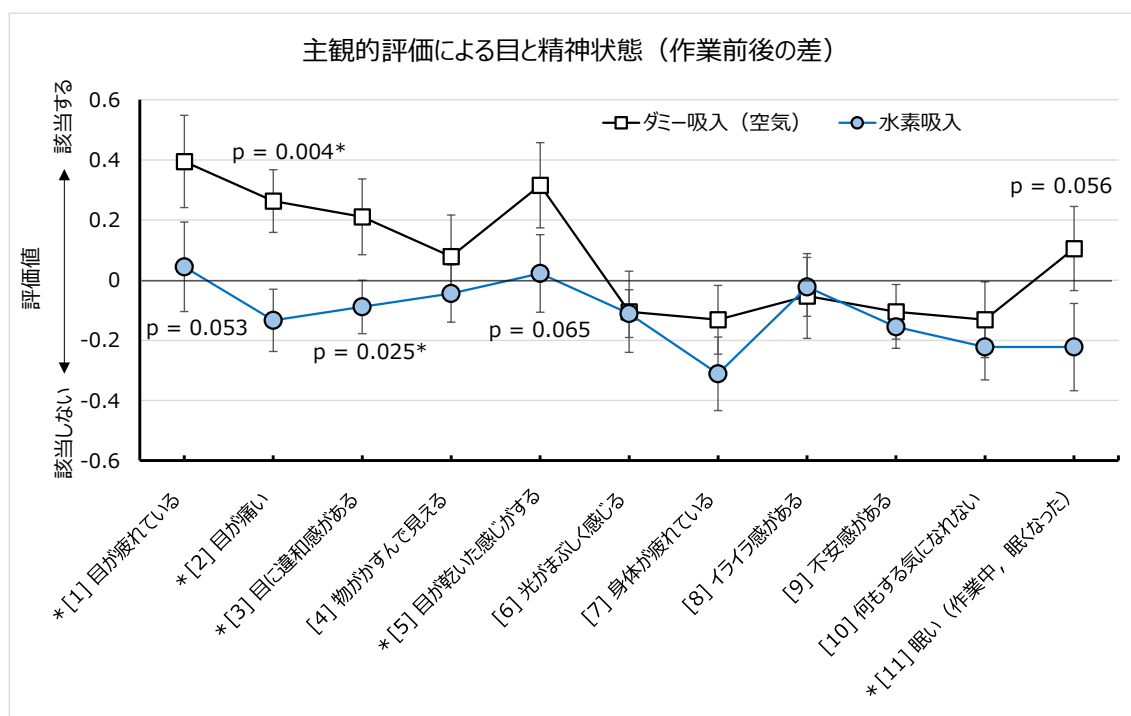


図14 主観的評価による目と精神状態の作業前後の比較

項目[2]の「目が痛い」については、水素吸入の場合、マイナスの値となっていることから作業前と比べて症状が緩和したということになる。この項目については、ダミー吸入と水素吸入で統計的に有意な差が認められた。すなわち、目の痛みについては水素吸入により緩和するという水素の効果は認められる。同様に項目[3]の「目に違和感がある」についても両者に有意な差が認められ、水素吸入の効果が現れていると言える。

項目[5]「目が乾いた感じがする」、項目[11]「眠い、眠くなった」については、水素吸入の場合に症状が緩和する傾向が認められる。

「イライラ感」「不安感」など、精神状態については水素吸入とダミー吸入の違いは認められなかった。

VDT作業は目の負担が大きく、ダミー吸入では作業後に目の症状が現れるが、水素を吸入しながらのVDT作業では、作業前後の違いがほとんどない結果となった。項目[1]や[11]のように統計的有意差の基準であるp値の0.05をやや上回る結果については、作業時間が30分間という短い時間であったため、ダミー吸入と水素吸入の差が明確に出なかった可能性が考えられる。それらの項目については、p値が0.1未満であったことから、30分間の作業において水素の効果がある傾向は認められる。

図15に身体各部の痛み、こり、だるさ、しびれに関する結果を示す。「首」と「右上腕」について、統計的に水素吸入の有意な効果が認められた。「左肩」「右肩」については、水素吸入の効果の傾向が示された。本研究で取り上げたVDT作業は、両腕を用いたタイピング（文字入力）と右腕を用いたマウスクリックであったため、それらの作業に必要な筋肉に負荷がかかったものと考えられる。したがって「首」「右上腕」に異常が生じたものと考えられるが、水素吸入によってそれらの異常は生じていない。また、「左肩」「右肩」については、ダミー吸入では作業前後に差はないが、水素吸入の場合は作業前に感じた異常がむしろ解消される傾向が見られた。

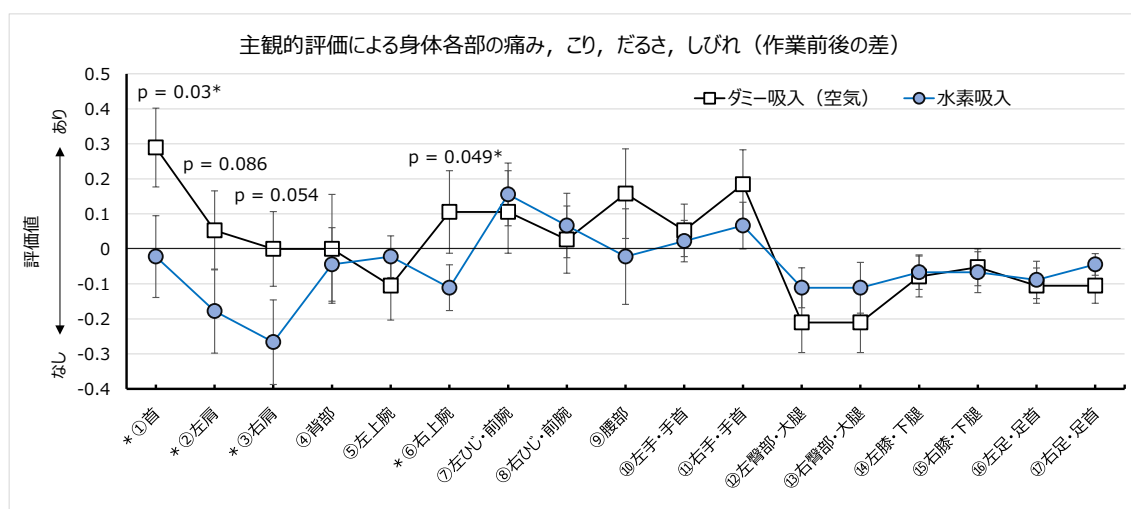


図15 主観的評価による身体各部の痛み、こり、だるさ、しびれの作業前後の比較

6-2 唾液アミラーゼによるストレス評価の結果

図 16 に唾液アミラーゼによるストレス評価の結果を示す。当初、作業前のストレス値はダミー吸入の場合に 19.3、水素吸入の場合に 16.0 であった。各被験者は作業前に様々な環境で活動をしており、それらの結果としてストレス値が求まる。したがって、ダミー吸入と水素吸入で作業前のストレス値が一致するとは限らない。本研究では、水素の効果を見るのが目的であるため、作業前後の差に着目し、作業前の水素吸入のストレス値をダミー吸入のストレス値に合わせるように前後の値を補正している。結果は図に示すようにダミー吸入と水素吸入では、作業後にいずれも増加するが、ダミー吸入のほうが増加量が大きい。しかしながら、唾液アミラーゼによるストレス値は測定ごとのばらつきが大きく、いずれも統計的に有意差は認められなかった。

本研究の VDT 作業は画面に表示される文字列をタイピングする作業とランダムに並ぶ 1 から 25 の数字を 1 から順にクリックする作業を取り上げた。いずれも単純作業で思考や記憶、判断を伴うものではなく、しかも作業時間を 30 分間としたため、大きなストレスは生じなかったものと考えられる。水素吸入時には作業前後においてほとんど差がないことから、ストレスに対して何らかの水素の効果はあるものと考えられる。

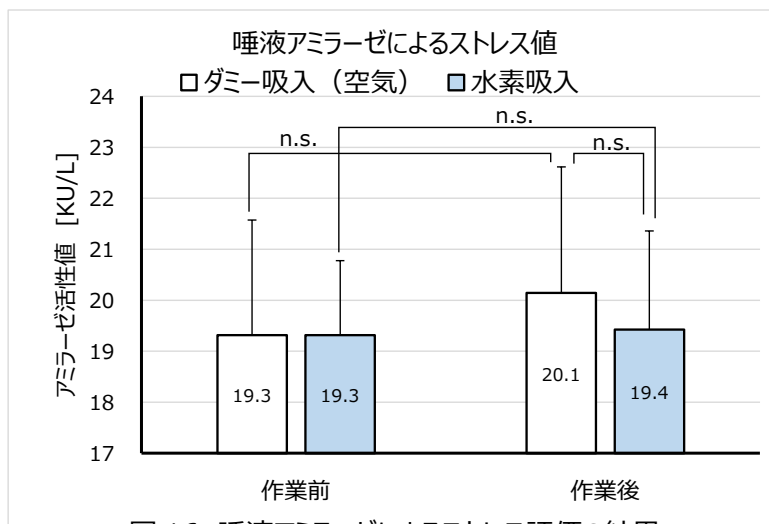
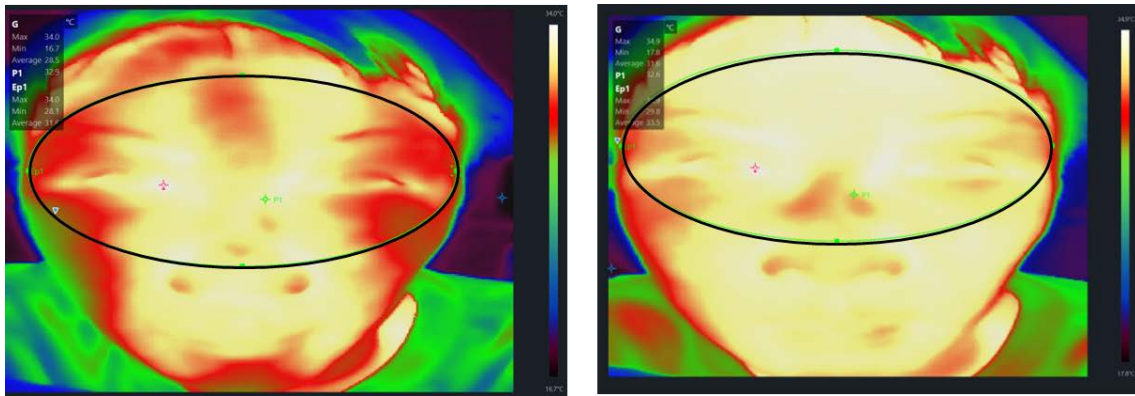


図 16 唾液アミラーゼによるストレス評価の結果
(全被験者、全試行の平均)

6-3 目の周辺温度評価の結果

図 17 に目の周辺温度評価のための顔のサーモグラフィの 1 例を示す。図(a)は作業前、図(b)は作業後で、いずれもダミー吸入の場合を示している。目の周辺温度を評価するにあたり、図に示すように、目の周辺を楕円で囲み、その中の平均温度を求めた。作業前は平均温度が 31.6°Cであったが、作業後は 33.5°Cに上昇していることがわかる。

図 18 には全被験者の全試行について各条件の平均のグラフを示す。目の周辺温度については、唾液アミラーゼによるストレス評価と同様に、ダミー吸入時に統計的な有意差はないものの作業後に目の周辺温度が上昇する傾向があった。VDT 作業は目を休みなく使用するため、目の疲労回復のため目の周辺の血管が拡張し血流が増えて温度が上昇するものと考えられる。それに対して、水素吸入時には温度の上昇は認められなかった。これは水素の効



(a) ダミー吸入（空気）・作業前
目の周辺（楕円内）の平均温度 31.6℃

(b) ダミー吸入（空気）・作業後
目の周辺（楕円内）の平均温度 33.5℃

図 17 目の周辺温度評価のための顔のサーモグラフィ（例）

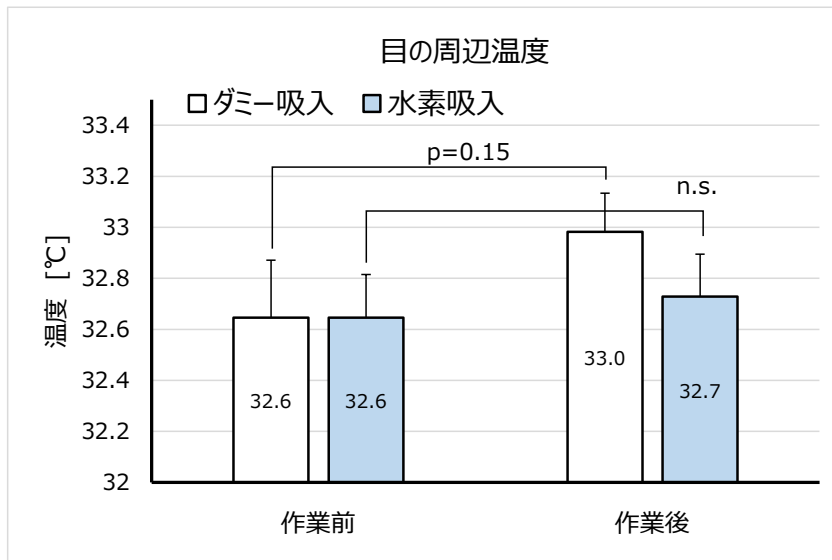


図 18 目の周辺温度の測定結果（全被験者，全試行平均，作業前が一致するように補正後）

果によって目の疲労が抑えられて血流が増加する必要がなかったものと考えられる。

6-4 目の充血度の測定結果

図 19 に目の充血度の測定例を示す。図(a)は解析前の元画像で、いずれもダミー吸入の場合で上に作業前，下に作業後の画像を示している。作業後は作業前に比べて、結膜（白目の部分）がやや赤みがかっているのがわかる。図(b)は、結膜の部分の4カ所を四角で囲み、それぞれの赤色成分の面積割合から充血度を求めた解析後を示している。作業前の充血度の平均値は13.81であるのに対して作業後は33.14となっており、作業後のほうが充血度が上昇していることがわかる。目視で判断する充血スコアに比べて、このように定量化することによって違いが明確になることがわかる。



(a)解析前の元画像



(b)解析後の画像と充血度の結果

図 19 目の充血度測定例

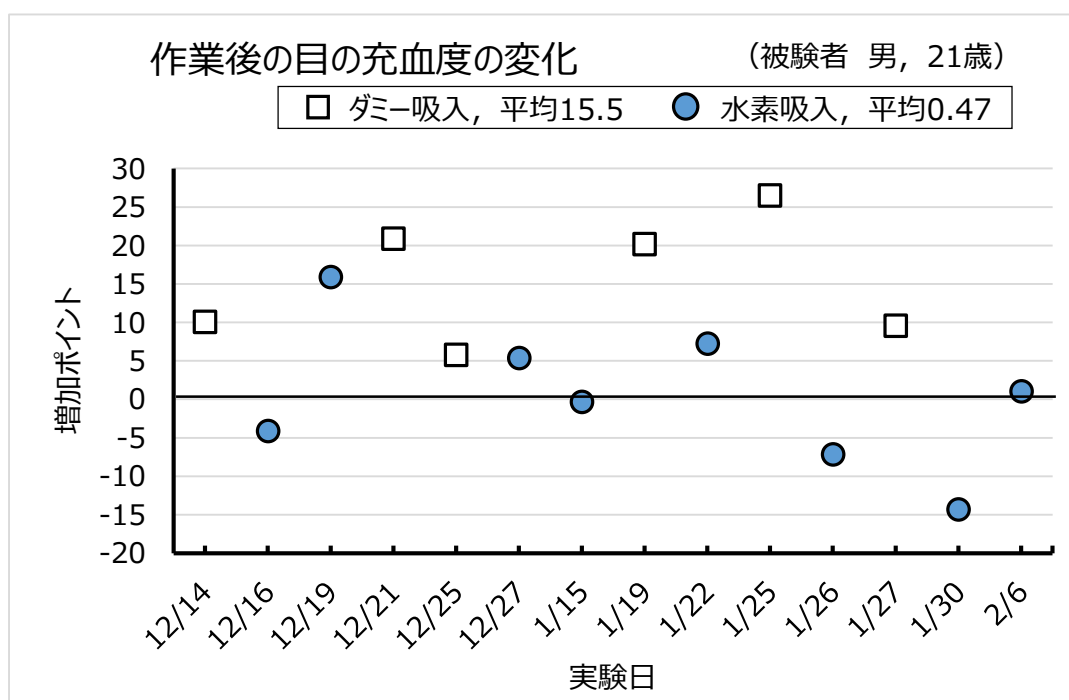


図 20 目の充血度の日ごとの変化 (1例)
(各日の値は作業前後の差)

図 20 に被験者 1 人について、目の充血度の日ごとの変化をまとめた例を示す。図の縦軸は作業前後の差、すなわち作業後の充血度 (%) から作業前の充血度 (%) を引いた値、増加ポイントを示している。マーカーの□はダミー吸入の条件、●は水素吸入の条件を示している。12月14日はダミー吸入の条件で、充血度は約10ポイント上昇している。12月16日は水素吸入の条件で約5ポイント低下している。日によってばらつきはあるものの、水素吸入のほうが増加ポイントが低くなっている。これは水素の効果であると考えられる。主観的評価にも現れていたようにVDT作業によって目の疲れや痛みが生じ、酸素を取り込むために血管が拡張し目は充血する。したがって水素吸入の場合であっても作業の影響で充血度は上昇して当然と考えられるが、作業前よりも充血度が治まる日もあることがわかる。

図 21 に全被験者、全試行について目の充血度の平均をまとめたグラフを示す。この図においてもストレス値と同様に作業前が一致するように補正している。目の充血度については、ダミー吸入と水素吸入の両方において、作業前と作業後に統計的に有意な差が認められた。すなわち、ダミー吸入の場合、作業後に充血度が上昇し、水素吸入の場合、作業後に充血度が低下する。充血度の上昇はサーモグラフィによる目の周辺温度と同様に、目の疲労回復のために普段は細い血管がVDT作業により拡張して起こると考えられる。水素吸入時には目の疲労が抑制され、安静状態が30分間続いたのと同等の結果として充血が低下したものと考えられる。

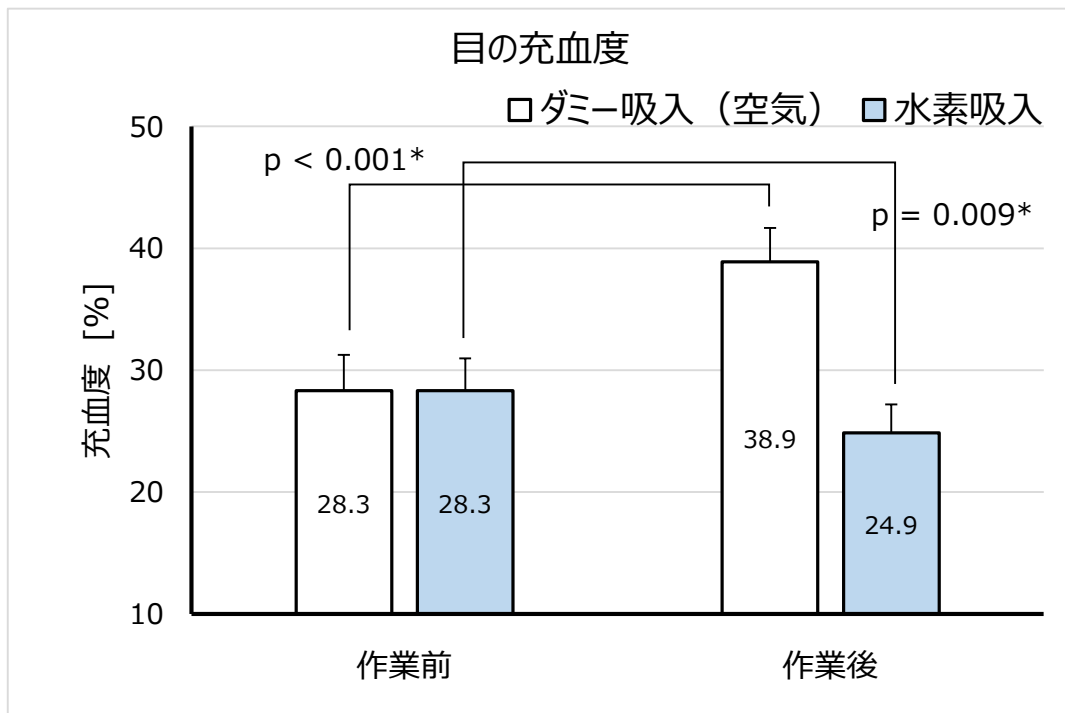


図 21 目の充血度の測定結果 (全被験者, 全試行平均, 作業前が一致するように補正後)

6-5 目の遠近調節時間の測定結果

図 22 に全被験者, 全試行について, 目の遠近調節時間の平均をまとめた結果を示す。この場合, ダミー吸入と水素吸入で作業前の値はほとんど差がなかった。ストレスや目の充血

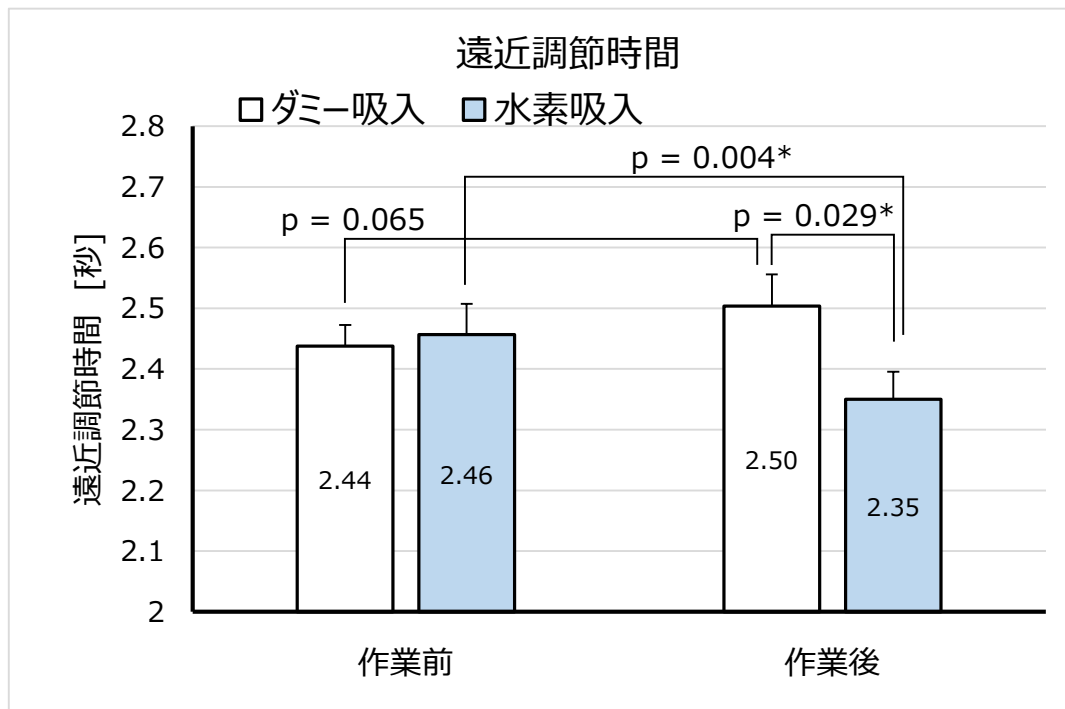


図 22 目の遠近調節時間の測定結果 (全被験者, 全試行の平均)

度と異なり、それまでの普段の活動によって差が出ないと考えられる。目の遠近調節時間については、ダミー吸入時に統計的な有意差はないものの作業後に増加する傾向があった。一方、水素吸入時には作業後に有意な減少が認められた。前にも述べたように、目は遠くを見たあと近くを見るために、レンズの役目である水晶体を膨らませて網膜上に焦点を合わせる。目が疲労すると遠点から近点に水晶体を調節する時間が遅くなる。ダミー吸入時に遠近調節時間が増加する傾向があったのは目が疲労したためと考えられる。水素吸入時には、疲労は抑制され、VDT作業によって目の機能がむしろ活性化されたためではないかと考えられる。

6-6 フリッカー検査の結果

図 23 に全被験者、全試行について、フリッカー検査の平均をまとめた結果を示す。フリッカー検査は精神的疲労や身体的疲労を検査するものであるが、作業前の疲労の状態は被験者によっても、生活の状況によっても異なるため、ここでも作業前の値が一致するように補正を行っている。ダミー吸入時には作業後に有意なフリッカー値の低下、すなわち疲労が認められた。一方、水素吸入時には作業後に有意な疲労は認められなかった。このことは既述の他の測定結果と矛盾はなく、水素吸入の効果を示す結果となった。

6-7 姿勢測定の結果

図 24 に VDT 作業における姿勢変化の 1 例を示す。図(a), (b)はそれぞれダミー吸入条

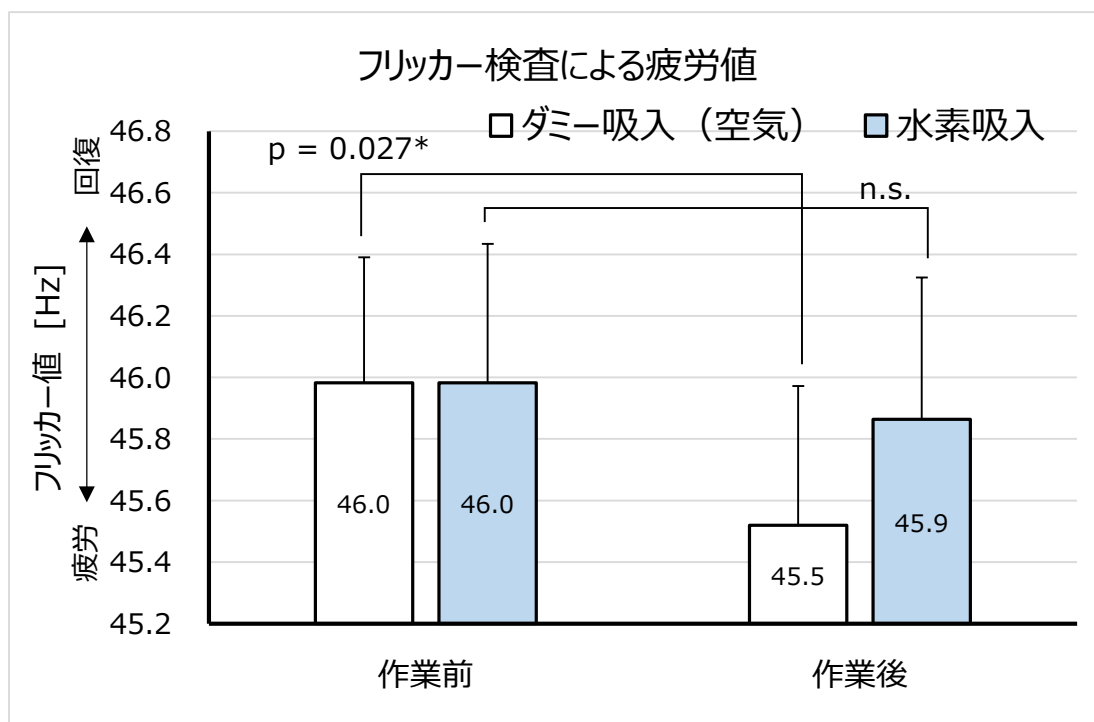


図 23 フリッカー検査の結果 (全被験者、全試行平均、作業前が一致するように補正後)

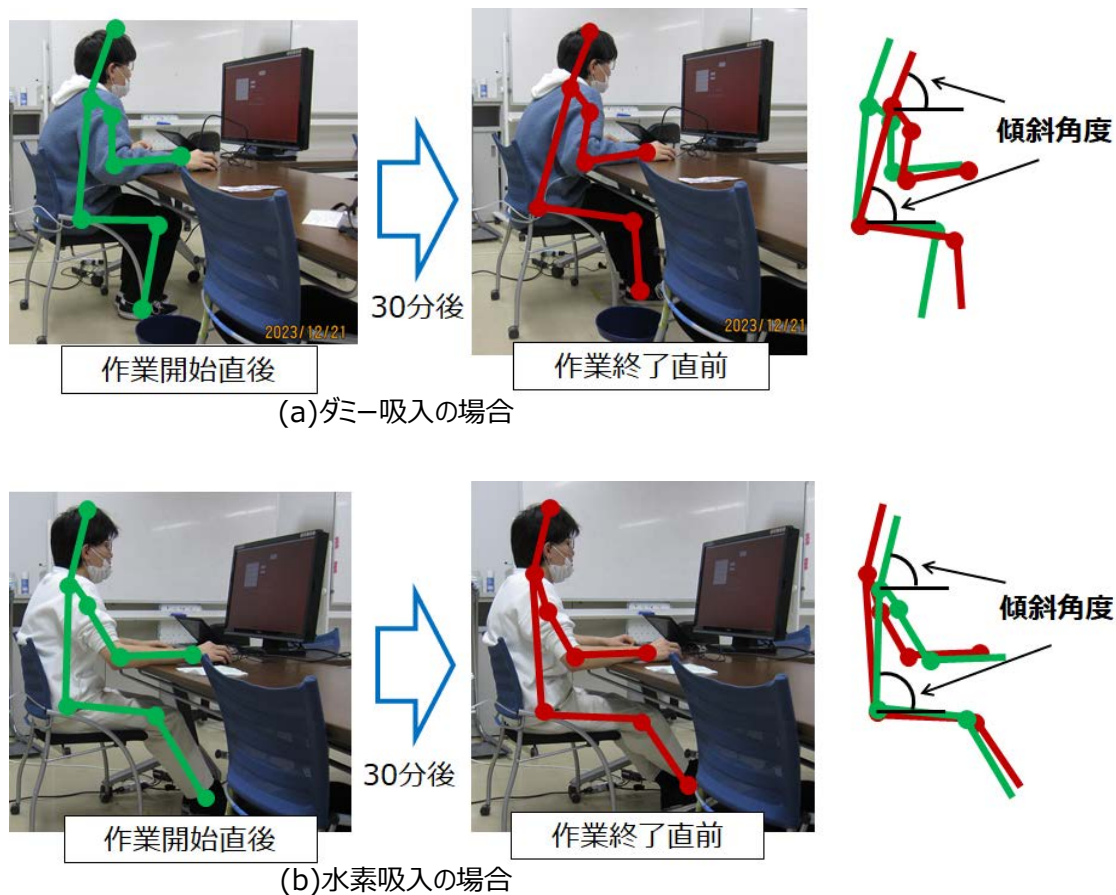
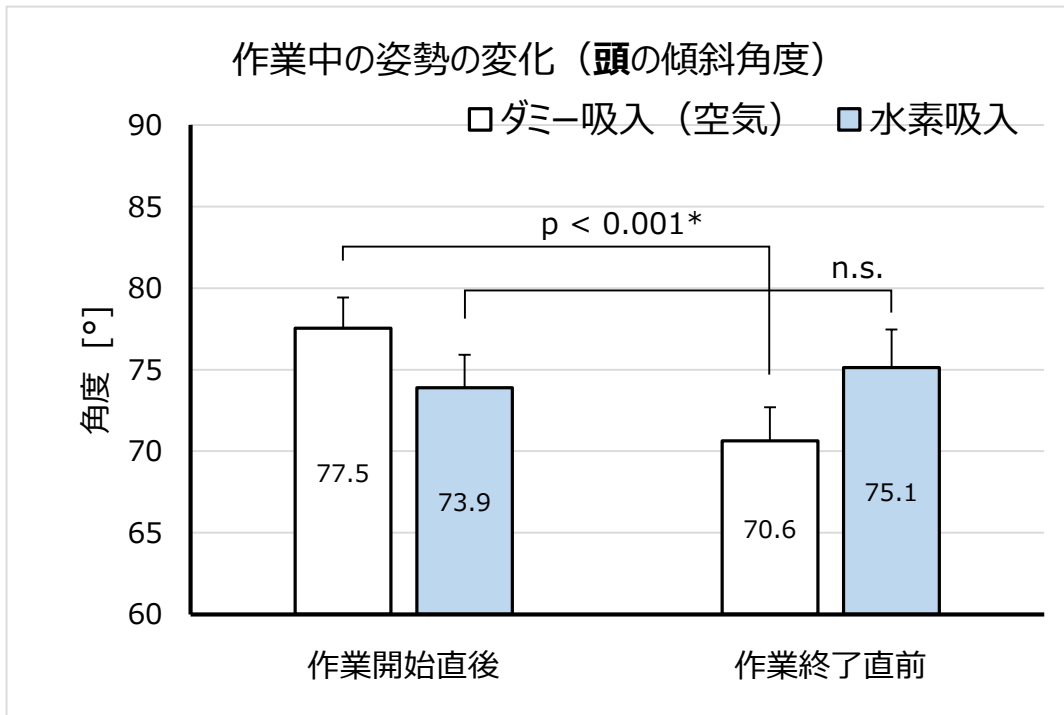


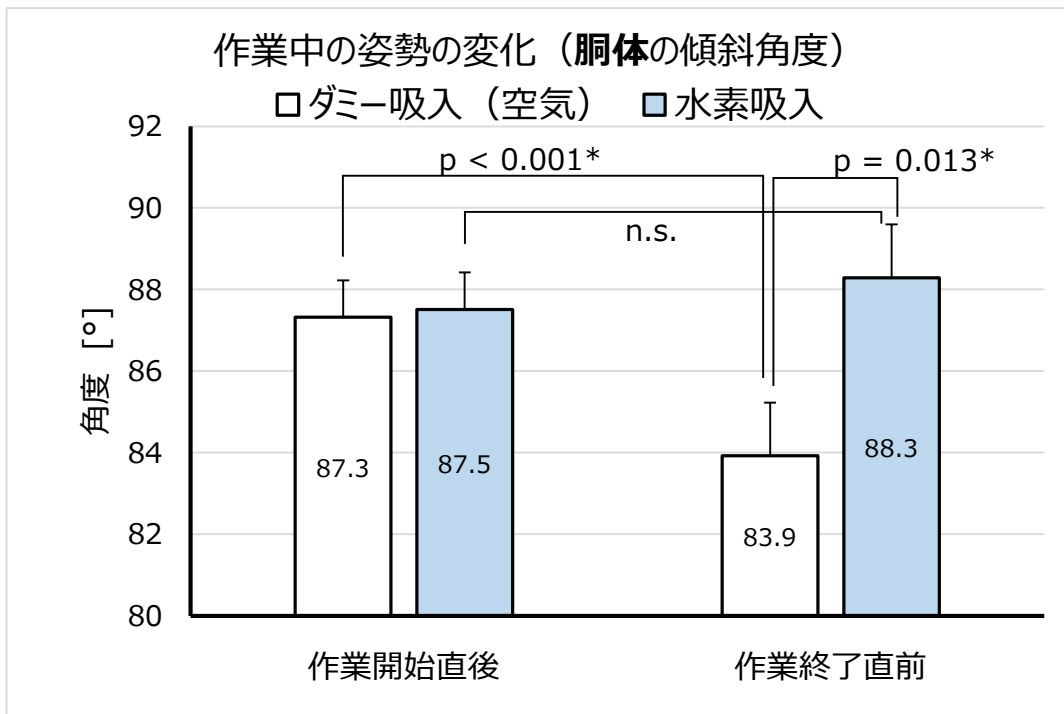
図 24 VDT 作業における姿勢の変化（姿勢測定の 1 例）

件、水素吸入条件の結果を示している。それぞれ左側は作業開始直後、右側は作業終了直前の姿勢である。ビデオモーションキャプチャを用いて、それぞれに骨格線を重ね描きしている。今回の VDT 作業では時間の経過に伴って、上半身が前傾していくケースとそうでないケースが見られた。図(a)では作業開始直後と作業終了直前を比較すると 30 分後の作業終了直前のほうが前傾姿勢となっているのがわかる。一方、図(b)では作業開始直後と作業終了直前でほとんど差はなく、むしろ作業終了直前のほうがやや後傾していることがわかる。そこで各被験者の頭と胴体の傾斜角度（それぞれの水平軸とのなす角度）を求め、全被験者の傾向を見ることとした。

図 25 に全被験者、全試行について頭と胴体の傾斜角度の平均をまとめた結果を示す。図 (a) , (b)はそれぞれ頭の傾斜角度および胴体の傾斜角度の結果を示している。頭と胴体の傾斜角度はいずれもダミー吸入の場合に統計的に有意に減少している。すなわち、VDT 作業が進行すると前傾姿勢へと変化することを示している。一方、水素吸入の場合、作業開始直後と作業終了直前で有意な差は認められない。すなわち、作業開始直前の姿勢がほぼそのまま維持されるということになる。一般に、VDT 作業時に疲労すると、視認を向上するためディスプレイに近づく傾向がある。ダミー吸入時に頭と胴体が前傾するのはそのため



(a)頭の傾斜角度



(b)胴体の傾斜角度

図 25 VDT 作業における姿勢の変化（全被験者，全試行の平均）

であると考えられる。水素吸入時には疲労が抑制され、姿勢の前傾は必要なく正しい着座姿勢を維持できたものと考えられ、このことは水素の効果であると考えられる。

6-8 作業効率の結果

図 26 に全被験者、全試行について、作業効率をまとめた結果を示す。図は入力文字数に対するミスタイプ率の平均を示している。統計的な有意差はないものの水素吸入時にはミスの割合が減少する傾向が認められる。

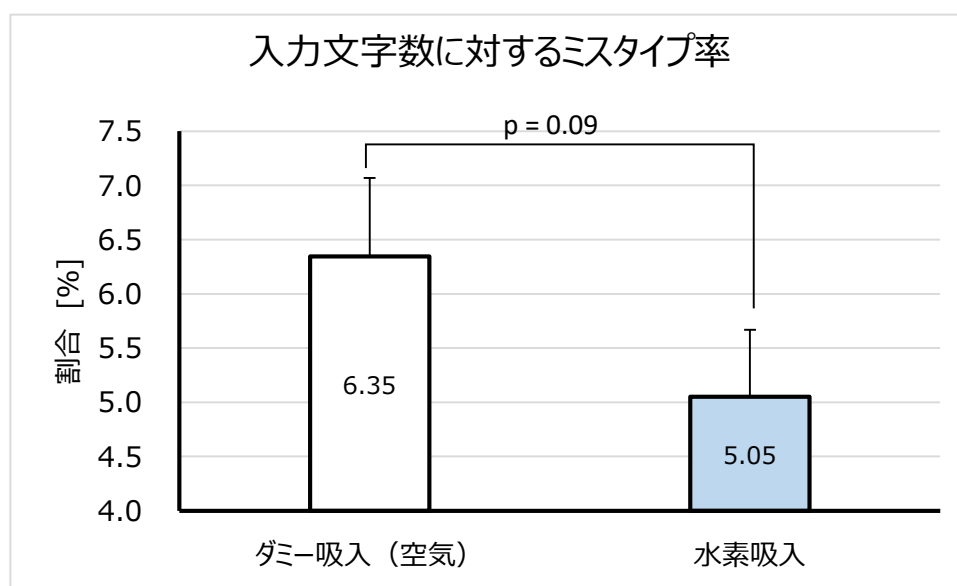


図 26 VDT 作業における作業効率の比較
(入力文字数に対するミスタイプ率, 全被験者, 全試行の平均)

7. おわりに

本研究では、人間工学の側面から、主観的評価、ストレス評価、目の生理学的評価、目の遠近調節力の評価、フリッカー検査、姿勢の評価、作業効率の評価などに基づいて、VDT 作業中に水素ガスを吸入する効果について検討を行った。その結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 鼻腔カニューラを装着する、あるいは水素吸入器が作動するだけでプラセボ効果により、疲労や生理学的変化が生じることが考えられるため、被験者に知らせることなく、ダミー吸入と水素吸入に分けて効果を確認した。それにより水素の効果がより明確になった。

- (2) VDT 作業として、単純作業であるビジョントレーニングとタイピング作業を取り上げた。いずれも作業時間を 30 分間とした。
- (3) 被験者は健常な大学生男女 11 名とした。各被験者には VDT 作業を日を変えて複数回実施してもらった。VDT 作業中には被験者には知らせず、ダミー吸入（空気）か、水素吸入のいずれかを行ってもらった。VDT 作業の実施回数は、全被験者でダミー吸入（空気）条件で合計 40 回、水素吸入条件で合計 46 回であった。総計 86 回の実施となり、被験者 1 人あたり平均 8 回の実施となった。
- (4) 主観的評価による目と精神状態の評価については、「目が痛い」「目に違和感がある」といった目に関する項目について、水素吸入の有意な効果が認められた。また、「目が疲れている」「目が乾いた感じがする」「眠い、眠くなった」については水素吸入の場合に症状が緩和する傾向が認められた。「イライラ感」「不安感」など、精神状態については水素吸入とダミー吸入の違いは認められなかった。
- VDT 作業は目の負担が大きく、ダミー吸入では作業後に目の症状が現れるが、水素を吸入しながらの VDT 作業では、作業前後の違いがほとんどない結果となった。
- (5) 主観的評価による身体各部の痛み、こり、だるさ、しびれの評価については、「首」「右上腕」について、水素吸入の有意な効果が認められた。「左肩」「右肩」については水素吸入の場合に症状が緩和する傾向が認められた。本研究で取り上げた VDT 作業は、両腕を用いたタイピング（文字入力）と右腕を用いたマウスクリックであったため、それらの作業に必要な筋肉に負荷がかかったものと考えられる。したがって「首」「右上腕」に異常が生じたものと考えられるが、水素吸入によってそれらの異常は生じていない。また、「左肩」「右肩」については、ダミー吸入では作業前後に差はないが、水素吸入の場合は作業前に感じた異常がむしろ解消される結果となった。
- (6) 唾液アミラーゼによるストレス評価では、ダミー吸入時に統計的な有意差はないものの作業後にストレスが増える傾向があった。一方、水素吸入時にはストレスの上昇は認められなかった。本研究の VDT 作業は単純作業で思考や記憶、判断を伴うものではなく、しかも作業時間を 30 分間としたため、大きなストレスは生じなかったものと考えられる。水素吸入時には作業前後においてほとんど差がないことから、ストレスに対して何らかの水素の効果はあるものと考えられる。
- (7) サーモグラフィによる目の周辺温度については、唾液アミラーゼによるストレス評価と同様に、ダミー吸入時に統計的な有意差はないものの作業後に目の周辺温度が上昇する傾向があった。VDT 作業は目を休みなく使用するため、目の疲労回復のため目の周辺の

血管が拡張し血流が増えて温度が上昇するものと考えられる。それに対して、水素吸入時には温度の上昇は認められなかった。これは水素の効果によって目の疲労が抑えられて血流の増加が必要なかったものと考えられる。

- (8) 目の充血度については、ダミー吸入時には作業後に有意な上昇が認められた。一方、水素吸入時には作業後に有意な低下が認められた。この現象はサーモグラフィによる目の周辺温度と同様に、普段は細い血管が VDT 作業により目の疲労回復のために拡張して起こると考えられる。水素吸入時には目の疲労が抑制され、安静状態が 30 分間続いたのと同等の結果として充血が低下したものと考えられる。
- (9) 目の遠近調節時間については、ダミー吸入時に統計的な有意差はないものの作業後に増加する傾向があった。一方、水素吸入時には作業後に有意な減少が認められた。目は遠くを見たあと近くを見るために、レンズの役目である水晶体を膨らませて網膜上に焦点を合わせる。目が疲労すると遠点から近点に水晶体を調節する時間が遅くなる。ダミー吸入時に遠近調節時間が増加する傾向があったのは目が疲労したためと考えられる。水素吸入時には、疲労は抑制され、VDT 作業によって目の機能がむしろ活性化されたためではないかと考えられる。
- (10) フリッカー検査の結果については、ダミー吸入時には作業後に有意なフリッカー値の低下、すなわち疲労が認められた。一方、水素吸入時には作業後に有意な疲労は認められなかった。このことは既述の測定結果と矛盾はなく、水素吸入の効果を示す結果となった。
- (11) 姿勢測定の結果、ダミー吸入時には作業後に頭および胴体の有意な前傾が認められた。一方、水素吸入時には作業後にそれらの有意な傾斜角度の変化は認められなかった。一般に、VDT 作業時に疲労すると、視認を向上するためディスプレイに近づく傾向がある。ダミー吸入時に頭と胴体が前傾するのはそのためであると考えられる。水素吸入時には疲労が抑制され、姿勢の前傾は必要なく正しい着座姿勢を維持できたものと考えられ、このことは水素の効果であると考えられる。
- (12) VDT 作業の作業効率として、入力文字数に対するミスタイプ率を求めた結果、統計的な有意差はないものの水素吸入時にはミスの割合が減少する傾向が認められた。

以上、本研究で設定した条件の VDT 作業において、唾液アミラーゼによるストレス評価、サーモグラフィによる目の周辺温度、目の充血度、目の遠近調節時間、フリッカー検査、姿勢測定、作業効率のいずれの結果も互いに矛盾はなく、水素吸入の効果が示唆される結果となった。今回の実験では、VDT 作業として単純な内容の作業を取り上げた。また作業時間

を30分間としたため、ダミー吸入の場合と水素吸入の場合に明確な差が現れなかった要素もあった。今後、VDT作業の内容や作業時間の変更を検討し、今回の結果の妥当性、再現性などをさらに明らかにすることが望まれる。

参考文献

- [文献1] 山元ほか3名：水素ガス吸入療法の現状と将来性，ファルマシア，57(1)，(2021)，pp.44-47.
- [文献2] 赤木純児：「抑制性免疫の制御」－免疫チェックポイント阻害剤、水素ガス、低用量化学療法－，水素医科学研究会，第2回セミナー「最新水素研究2022」要旨集，(2022)，p.10.
- [文献3] 萬憲彰：次世代の医療、水素の可能性，水素医科学研究会，第2回セミナー「最新水素研究2022」要旨集，(2022)，p.7.
- [文献4] 佐野元昭：水素研究最前線 as of March 2022，水素医科学研究会，第2回セミナー「最新水素研究2022」要旨集，(2022)，p.11.
- [文献5] MiZ株式会社まとめ：水素分子の各種疾患又はモデルに対する効果を報告した文献，Ver.2.7，(2019)，pp.1-100.
- [文献6] 太田成男：水素医学の現状：基礎医学から臨床医学へ，ファルマシア，48-8，(2012)，pp.767-771.
- [文献7] Aoki, K., Nakao, A., Adachi, T., Matsui, Y., & Miyakawa, S.: Pilot study: Effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes, *Medical Gas Research*, 2, 12, (2012), pp.1-6.
- [文献8] Nagata, K., Nakashima-Kamimura, N., Mikami, T., Ohsawa, I., & Ohta, S.: Consumption of Molecular Hydrogen Prevents the Stress-Induced Impairments in Hippocampus-Dependent Learning Tasks during Chronic Physical Restraint in Mice, *Neuropsychopharmacology*, 34, (2009), pp.501-508.
- [文献9] 川野常夫：生体計測に基づいた水素吸引の効果に関する研究，水素医科学研究会，第2回セミナー「最新水素研究2022」要旨集，(2022)，p.7.
- [文献10] 高橋誠：VDT作業者の視覚疲労自覚症状の分析，*労働科学*，69(5)，(1993)，pp.193-203.
- [文献11] 植竹篤志，大塚美保，高澤要介，村田厚生：VDT作業時の視覚疲労の評価に関する研究，*電子情報通信学会論文誌 A*，83(12)，(2000)，pp.1521-1529.
- [文献12] 矢野雅彦：VDT (visual display terminals) と眼精疲労，*四国医学雑誌*，58(3)，(2002)，pp.84-87.
- [文献13] 岩切一幸，毛利一平，外山みどり，堀口かおり，落合孝則，城内博，斉藤進：VDT作業者の身体的疲労感に影響する諸因子の検討，*産業衛生学雑誌*，46(6)，(2004)，

pp.201-212.

- [文献 14] 大高功, 高林克枝: モニターを使った作業 (VDT 作業) と疲労度合いについて, 日本未病システム学会雑誌, 14(2), (2009), pp.211-213.
- [文献 15] 牧 祥, 榊原洋子, 久永直見: 大学および附属学校の教員と事務職員の VDT 作業と眼および筋骨格系自覚症状に関する研究, 労働科学, 89(3), (2013), pp.102-111.
- [文献 16] 中本哲, 小田和美: VDT 作業における疲労: 主観的及び客観的指標を用いた評価, 東京女子体育大学・東京女子体育短期大学紀要, 53, (2018), pp.157-163.
- [文献 17] 上田泰久, 上條史子, 大竹祐子, 福井勉, 藤下彰彦: 座位姿勢における頭頸部の運動と脊柱アライメントの関係, 理学療法科学, 36(4), (2021), pp.511-514.
- [文献 18] Giannaccare, G., Vaccaro, S., Mancini, A., Scorcio, V.: Dry eye in the COVID-19 era: how the measures for controlling pandemic might harm ocular surface. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 258, (2020). pp.2567-2568.
- [文献 19] KOH, Shizuka, RHEE, Michelle K.: COVID-19 and dry eye, Eye & Contact Lens, 47,6,(2021), pp.317-322.
- [文献 20] Neti, N., Prabhasawat, P., Chirapapaisan, C., Ngowyutagon, P.: Provocation of dry eye disease symptoms during COVID-19 lockdown, Scientific Reports, 11(1)24434, (2021), pp.1-9.
- [文献 21] 加藤浩治: ICT 機器の学習利用と健康配慮に関する研究, 平成国際大学論集, (27), (2023), pp.59-82.
- [文献 22] 中野敦行, 山口昌樹: 唾液アミラーゼによるストレスの評価, バイオフィードバック研究, 38(1), (2011), pp.3-9.
- [文献 23] 山口昌樹: 唾液マーカーでストレスを測る, 日本薬理学雑誌, 129(2), (2007), pp.80-84.
- [文献 24] 三ツ口陽子, 米田剛, 黒瀬孝弘, 福島敦樹 : 解析ソフトを用いたウサギ眼球結膜充血の定量化. アレルギー, 70(1), (2021), pp.26-32.