

精神的ストレスが僧帽筋内のヘモグロビン動態に及ぼす影響

中村賢治¹, 埤田和史², 北原照代², 辻村裕次², 西山勝夫²

¹大阪社会医学研究所, ²滋賀医科大学社会医学講座予防医学部門

抄録：精神的ストレスが僧帽筋内のヘモグロビン動態に及ぼす影響：中村賢治ほか。 大阪社会医学研究所—我々は、健常な非喫煙女性 20 名を対象に、精神的ストレスが、僧帽筋内の Hb 動態に及ぼす影響について調べた。被験者に、1 分間の立位での両上肢の側方水平位保持（身体的課題）、または Stroop's Color Word Test（精神的課題）、またはその両方を同時に与える課題を、5 分間の休憩をはさんで行わせた。心拍数、および筋内ヘモグロビン（酸素化 Hb：OxyHb, 脱酸素化 Hb：DeoHb, 総 Hb：TotHb）濃度と表面筋電図（いずれも右僧帽筋で測定）を測定した。各課題による Hb 濃度の安静時からの変動量 (Δ OxyHb, Δ DeoHb, Δ TotHb) を算出し、身体的負荷時と身体的および精神的負荷時を比較した。身体および精神的負荷時の Δ DeoHb は身体的負荷単独時より有意に小さく ($p = 0.013$), Δ OxyHb, Δ TotHb には有意な差は認められなかった ($p = 0.281$, $p = 0.230$)。本実験の結果は、精神的ストレスが僧帽筋内の Δ DeoHb に影響を及ぼしたことを示唆しており、可能性のある機序の一つとして、精神的ストレスによる僧帽筋の酸素消費量の減少が考えられた。今後、長時間の負荷による影響について検討する必要がある。
(産衛誌 2007; 49: 225-233)

キーワード： Occupational cervicobrachial disorder, Work-related musculoskeletal disorders, Mental stress, Near infrared spectroscopy, Blood flow, Hemoglobin dynamics, Trapezius muscle

I. 緒言

頸肩腕障害を含む作業関連性筋骨格系障害は、国際的に罹患者が多く、経済的損失も大きいことから、その予防が課題となっている¹⁾。これまで予防対策として、頸

肩腕障害の発症に結びつく作業態様に注目し、作業の機械化、反復作業の制限、作業方法の人間工学的改善や一連続作業時間の上限設定などが行われてきた¹⁻³⁾。しかし、こうした対策にもかかわらず、身体的には軽微な負荷と考えられる作業で頸肩腕障害が多発している⁴⁾。ことから、近年、軽い筋負荷で頸肩腕障害が発症する機序や精神的ストレスの影響に関する研究が行われている^{4,5)}。欧州では、特定の運動ニューロンには軽い筋負荷から強い筋負荷に至るまで休みなく活動する性質があることに注目した組織的な協同研究⁴⁾が進められ、成果をあげている^{6,7)}。

こうした研究が共通して注目している事項の一つに、筋組織の疲弊や代謝破綻に関わる筋組織の血流がある^{1,4,8)}。筋組織の血流に関しては、動作や作業姿勢による筋内圧の変化に注目して間接的に推定する研究⁹⁾や筋組織の血流をレーザードップラー血流計で測定する研究¹⁰⁾が行われている。現在のレーザードップラー法は、血流測定のためにカニューラを用いて光ファイバーを刺入しなければならない。したがって、カニューラ刺入時の痛みや光ファイバーが挿入された状態で行う筋活動で生じる交感神経反射が筋血流に影響する可能性がある。

一方、近年になって近赤外分光法 (Near Infrared Spectroscopy: NIRS) を用いた生体組織内のヘモグロビン (Hb) 測定法が開発され、広く用いられている¹¹⁻¹³⁾。同測定法は、皮下数 cm の深さの組織における Hb 濃度を非侵襲的に測定することが可能で、かつ酸素化ヘモグロビン (OxyHb) と脱酸素化ヘモグロビン (DeoHb) を同時に測定できるという特徴がある。測定された総 Hb (TotHb = OxyHb + DeoHb) 濃度は、組織内の血液量を反映し、また、OxyHb 濃度と DeoHb 濃度は、組織の血流量と酸素消費により変動する¹²⁾。DeoHb 濃度の上昇や、OxyHb 濃度と DeoHb 濃度の差を、筋組織内の酸素消費の指標として用いた研究も行われている¹⁴⁾。

そこで我々は、精神的ストレスが、僧帽筋内の Hb 濃度に及ぼす影響の有無について実験的に検討した。

2006 年 4 月 13 日受付；2007 年 8 月 9 日受理

連絡先：中村賢治 〒555-0024 大阪府大阪市西淀川区野里 3-6-8 福島珙瑯西淀ビル 3 階 大阪社会医学研究所
(e-mail: nakamura-kenji@yodokyo.or.jp)

II. 対象と方法

1. 対象

対象者は20～39歳の女性で、持続する肩こりがなく、頸肩腕障害の既往もなく、血流やHbの酸素運搬に影響を及ぼすと考えられる膠原病、神経筋疾患、糖尿病、高血圧、高脂血症などに罹患しておらず、かつ喫煙をしていない者20名とした。性差の要因が関与していることも考えられるので、頸肩腕障害が多く発症している女性¹⁵⁾に、被験者を限定した。

2. 方法

2-1. 実験課題

実験では、身体的な負荷を与える課題（以下、「身体」）、精神的な負荷を与える課題（以下、「精神」）、身体的な負荷および精神的な負荷を同時に与える課題（以下、「複合」）を設定した。それぞれの課題時間は1分間とし、先行研究¹⁶⁾および予備実験を基に、各課題の前に5分間の安静椅座位時間（以下、「安静」）を設けた。課題の順序をFig.1に示す。「精神」は1回、「身体」は3回、「複合」は3回行った。

「精神」では、座位でStroop's Color Word Test (CWT) を行わせ、各被験者についてCWTによるストレス効果を心拍数の変動を用いて評価するために設定した。

「身体」では、立位で両上肢を側方水平位（肩関節90度外転、肘関節伸展位）に保持させた。日常診療における上肢挙上テストは1分程度であり、過度の負荷にならないと考え、また、1分間の上肢挙上による疲労は5分間の安静により十分回復されることを予備実験で確認できた。よって、本実験の課題の上肢挙上時間を1分間とした。

「複合」では、「身体」と同様に立位で両上肢を側方水平位に保持させながらCWTを行わせた。

「安静」では、腰背部を充分支持する背もたれを有し、座面の高さや肘掛けの高さを調節できる椅子に、座面と肘掛けの高さを被験者が最もリラックスできるように調節して座らせた。

本実験で行ったCWTは、「赤」「青」「緑」「黄」の文字をそれぞれ赤色、青色、緑色、黄色で示した計16種類の色文字（ゴシック体、画面上の大きさは縦14cm×横14cm、背景は薄い灰色）を用意し、16.0インチの液晶画面にそれらの文字を1文字/秒の速さで表示した。色文字は課題毎にランダムな順とした。画面と被験者の眼との距離は約150cmとし、被験者の目線の水平から10度下方の範囲に画面が入るよう高さを調節した。被験者には、文字の意味と色が一致していれば（例えば赤色の「赤）」「はい」と、一致していなければ（例えば青色の「赤）」「いいえ」と口頭で答えるよう指示した。実験に先立って、CWTの練習（30秒間、2回）を行った。

実験は、室温を23℃に調整した環境制御実験室で行い、ビデオカメラを用いて実験過程を録画し、解析前に、上肢挙上姿勢が保たれていることを確認した。実験の実施は、2004年12月から2005年2月にかけて行い、実験日は各被験者の月経日に重ならないように調整した。実験は1名あたり約2時間で行い、1日あたり2名までとした。

2-2. 実験手順

実験は、機能検査、質問紙への記入、医師による診察、実験課題の実施、僧帽筋の等尺性最大随意収縮（Maximum Voluntary Contraction：MVC）測定の間で行った。実験課題実施前に、被験者を安静座位の状態にしたまま、約10分間でプローベや電極を貼付した。

機能検査では、血圧、左右の第2指末節腹側皮膚温と左右の第3指振動覚、左右の第1-2指および第1-3指のつまみ力、左右の第3指のタッピング30秒値、左右の握力、肩腕力、背筋力を測定した。肩腕力とは、前胸部

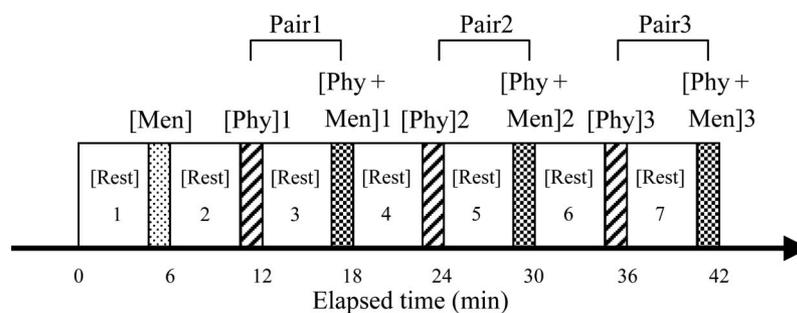


Fig. 1. Experimental procedure. [Rest]: seated on chair for 5 min; [Men]: mental load (Stroop's color word test) alone while seated on chair for 1 min; [Phy]: physical load (horizontally holding arms straight out to sides) alone in upright position for 1 min; [Phy + Men]: physical load and mental load together in upright position for 1 min.

に保持した肩腕力計を、左右から押す力と左右に引く力を測定したものである。

質問紙は、身体部位別自覚症状および日常生活の苦痛・不便調査票¹⁷⁾、Zungの自己評価式抑うつ性尺度¹⁸⁾(Self-rating Depression Scale : SDS)、身長、体重などに関する項目で構成したものをを用いた。

診察内容は、頸肩腕部の筋(上腕二頭筋、三角筋、大胸筋、前斜角筋、胸鎖乳突筋、僧帽筋、後頸部の筋群)の触診、頸および肩関節可動域、正中神経伸展テスト、モーレイテスト、ライトテスト、スパーリングテスト、上肢保持テストとした。診察方法は、労働省通達で示された方法^{19, 20)}に基づき、日常的に頸肩腕障害患者の診療に従事している医師が診察した。医師は、診察所見のダブルチェックのため2名とした。筋触診所見は、医師の母指頭により、塊状あるいは索状の筋や、弾性を失い板状に硬くなった筋を触知した場合に筋硬結ありとし、3kg/cm²未満の強さで僧帽筋を圧迫し被験者が痛みを訴えれば圧痛ありとした。医師は、筋の押圧が3kg/cm²未満になるよう、事前にトレーニングした。

MVCの測定は、被験者を立位にさせ、床に固定したベルトを両肩峰にかけ、両肩の最大挙上努力を1回させた。

2-3. 測定指標

1) ヘモグロビン (Hb)

筋Hb動態測定にはレーザー組織血液酸素モニター(OMEGA WAVE, BOM-L1 TRW)を用い、OxyHb濃度、DeoHb濃度を測定し、TotHb濃度を算出した。測定する筋は右僧帽筋とし、第7頸椎棘突起と右肩峰遠位端を結ぶ直線上の midpoint より2cm内側に、発光器と受光器より成るプローベを貼付した。測定深度が約0.8~1.6cmとなるよう、発光器-受光器間距離を3cmに設定した。時定数2秒でアナログ出力した測定データを、記録計(TEAC, DR-C2)により、分解能16bitにてA/D変換し、PCカードに記録した。

2) 表面筋電図

筋電図電極(Medicotest, NEUROLINE 725-01-K)は、Hb測定用のプローベの直ぐ背側に貼付した。検出された信号は、筋電アンプ(ゆうい工房, SGY-01)により増幅および濾波(8~1,000Hz)した後、記録計(TEAC, DR-C2)により、標準化周波数2,000Hz、分解能16bitにてA/D変換し、PCカードに記録した。記録した信号をコンピューター計算処理にて、周波数20Hz以上を濾波し、20ms毎の筋電位実効値(時定数50ms)に変換した。

3) 心拍数 (HR)

測定には心拍計(POLAR, S810i)を用いた。電極装着部位は前胸部とした。心拍数は、R-R間隔を分解能

1msで記録した。

3. 解析

3-1. 解析区間

課題時の解析区間を各課題開始後15秒経過時点からの40秒間とし、「安静」時の解析区間を各「安静」開始後3分20秒経過時点からの40秒間とした。

ただし、「安静」時の解析区間については、記録された映像を観察して体動が認められた部分、および、筋電図上目視により筋電位上昇があり、電位がその前後約1分間の平均筋電位実効値の2倍以上で、上昇持続時間が300ms以上であった部分は安静を保てていないと判断し、その部分が入らないよう解析区間を前に移動した。

3-2. 解析手順

1) 心拍数・基準区間

「精神」時の心拍数については、「精神」時平均心拍数(HR_{Men})から1回目の「安静」時平均心拍数(HR_{Rest1})を減じた値(「精神」心拍変動量: $HR_{inc-Men}$)を算出した。

「身体」時と「複合」時の心拍数については、各「身体」とその次の「複合」をペアにして(ペア1, 2, 3)、ペア内の「複合」時平均心拍数($HR_{Phy+Men}$)から「身体」時平均心拍数(HR_{Phy})を減じた値(ペア心拍変動量: $HR_{inc-pair}$)を算出した。

各被験者において、計7回の「安静」区間のうち、平均心拍数が最も小さかった「安静」時の解析区間を、最も精神的ストレスが小さく安静が保たれていた区間と考え、基準区間とした。

2) Hb動態の指標

Hb動態の指標として、Hb変動値(ΔHb : $\Delta OxyHb$, $\Delta DeoHb$, $\Delta TotHb$)と標準化Hb変動値(ΔsHb : $\Delta sOxyHb$, $\Delta sDeoHb$, $\Delta sTotHb$)を算出した。各課題時平均Hb濃度(Hb_{Task})からその直前の「安静」時平均Hb濃度(Hb_{Rest})を減じ(式(1))、Hb変動値とした。

$$\Delta Hb = Hb_{Task} - Hb_{Rest} \quad \text{--- (1)}$$

また、Hb変動値を基準区間の平均Hb濃度($Hb_{Baseline}$)で除し(式(2))、標準化Hb変動値を算出した。

$$\Delta sHb = \Delta Hb / Hb_{Baseline} \quad \text{--- (2)}$$

3) Hb比較

OxyHb濃度、DeoHb濃度、TotHb濃度について、「安静」と「身体」、「複合」の平均値を、一元配置分散分析を用いて比較した。

また本実験では、経時的に変化すると考えられる被験者の緊張や疲労などによる影響を最小限にするため、「身体」と、その次の「複合」をペアにして(ペア1, 2, 3) ΔHb , および ΔsHb を比較した。

ΔHb , および ΔsHb の比較は, 被験者内因子を課題(「身体」と「複合」)と反復経時要因とし, 反復測定による二元配置分散分析を用いて行った. 統計解析には SPSS for Windows 11J を用い, 有意水準は 5% とした.

4. 倫理的配慮

事前に研究目的や方法などの説明を受け, 自発的に文書で参加に同意した者を本実験の被験者とした.

本実験は, 滋賀医科大学倫理委員会の承認 (15-83) を得て行った.

Ⅲ. 結 果

1. 被験者

被験者の職業の内訳は, 学生が 16 名, 大学教員, 司書, 事務, 販売員が 1 名ずつであった. 平均年齢は 24 (20~36) 歳 (括弧内は最小~最大, 以下同様), 平均 Body Mass Index (BMI) は 20.0 (16.2~23.0) kg/m² であった, SDS の粗点の平均は 36 (26~49) 点であった. 身体部位別自覚症状調査で右肩「こる・だるい」が, いつもあると答えた被験者はおらず, 時々あると答えた被験者が 14 名いた. 右肩「いたい」が, いつもあると答えた被験者はおらず, 時々あると答えた被験者は 1 名いた. 機能検査の結果を Table 1 に示した. 被験者のうち, 皮膚温が室温より低い者やつまみ力が 1 kg 未満の者が各 1 名いたが, 自覚症状, 他の機能検査および診察より, 実験の実施に支障はないと判断した. その他に, 質問紙による自覚症状調査や機能検査で異常が認められた被験者はいなかった. 診察で右上部僧帽筋に, 限局された硬結が認められた被験者は 18 名で, そのうち 4 名に圧痛が認められた.

2. 測定・解析事例

ある被験者 (24 歳, 学生) の, 実験開始から 22 分 30 秒~31 分 30 秒後の, ペア 2 にあたる区間の測定結果を Fig. 2 に示した. この例では, 各々「身体」に相当する 23 分 30 秒付近からと「複合」に相当する 29 分 30 秒付近から, 筋電位実効値の上昇が約 1 分間持続している. また, ほぼ同時に心拍数が上昇し, Hb 値が変動している. 課題開始直後 15 秒間に認められた心拍数の上昇 (Fig. 2 の, 課題開始時刻を示す実線と解析開始時刻を示す点線に挟まれた部分) は座位から立位へ姿勢を変えたことの影響によるものと考えた. また, 「身体」2 に比べて「複合」2 の心拍数の上昇度が大きいのは, CWT によるストレス反応の影響と考えた. 図中で, 両矢印で示した区間が, それぞれ「身体」と「安静」, 「複合」時の解析区間である.

Table 1. Descriptive statistics for finger temperature, vibratory sensation, tapping and muscle power (n=20)

Measured index		Mean (min-max)
Finger temperature (°C)		
(Middle finger)	Right	29 (21-34)
	Left	30 (21-35)
Vibratory sensation (dB)		
(Middle finger)	Right	-4.6 (-10-5)
	Left	-4.3 (-10-2.5)
Tapping test (times per 30 s)		
(Middle finger)	Right	129 (65-156)
	Left	123 (93-148)
Pinching power (kg)		
(Index finger)	Right	2.7 (1.2-4.2)
	Left	2.6 (0.8-3.8)
(Middle finger)	Right	2.7 (1.2-4.5)
	Left	2.5 (0.8-4.4)
Gripping power (kg)		
	Right	27.1 (20.1-32.5)
	Left	25.0 (18.9-29.6)
Power of shoulders and arms (kg)*		
Compression power		18.4 (10-25.5)
Expansion power		17.3 (10.5-26.9)
Back strength (kg)		66 (38-88)

*Power of compressing or expanding dynamometer with shoulders and arms at thoracic level.

3. Hb 濃度

全被験者の OxyHb 濃度と DeoHb 濃度, および TotHb 濃度について, 「安静」時, 「身体」時, および「複合」時の平均値, 標準偏差, 最大値, および最小値を Table 2 に示した. 各 Hb 濃度において, 3 群間に有意な差は認められなかった.

4. %MVC, および心拍数

1 名の被験者で, MVC の測定値が低すぎる値を示したため, その被験者については適切な測定が行えなかったと考え, %MVC は 19 名で算出した.

平均%MVC (以下, 括弧内は標準偏差) は, 「安静」時は 2.1% (1.5), 「身体」時は 15.5% (5.5), 「複合」時は 14.7% (5.1) であった. 上肢挙上による苦痛を訴えた者, 上肢挙上を続けられなかった者はいなかった.

心拍数では, 1 名の被験者で, 1 回目の「身体」時に解析可能な結果が得られなかったため, そのペアは心拍数の解析対象から除外した. したがってペア心拍変動量は, 59 ペアの「身体」「複合」で集計を行った. 平均心拍数 (単位は bpm; beats per minute) は, 「安静」時は 67.8 bpm (9.0), 「精神」時は 75.5 bpm (12.9), 「身体」時は 78.6 bpm (9.0), 「複合」時は 82.3 bpm (10.6) であった. 被験者毎の「精神」心拍変動量, および被験者毎, ペア毎のペア心拍変動量を Table 3 に示した. 「精神」

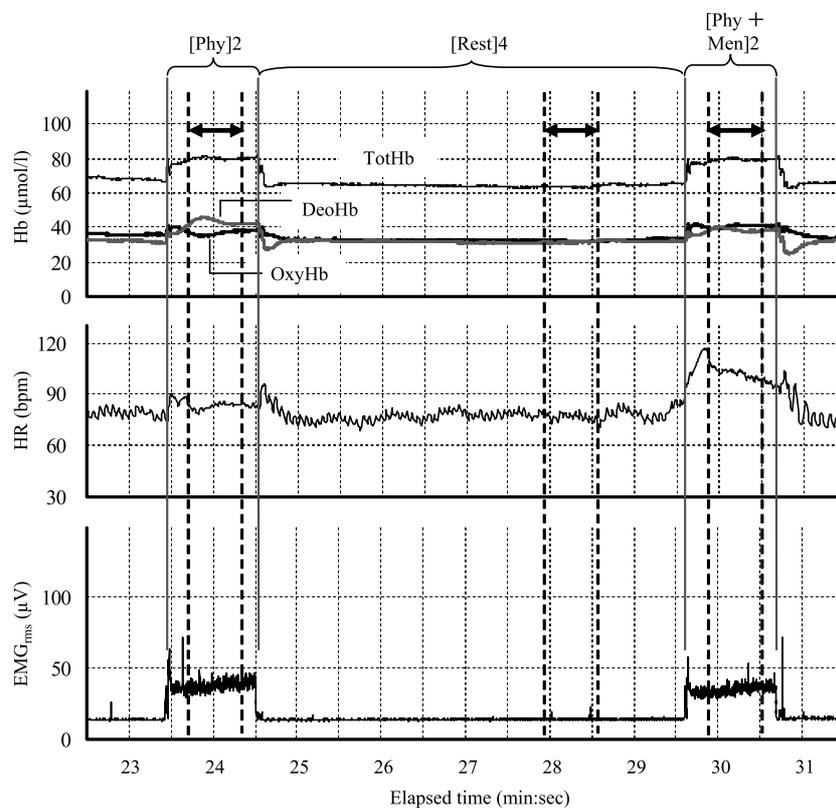


Fig. 2. Example of measured Hb (Hemoglobin), HR (Heart Rate) and EMG (Electromyography) findings. Vertical lines show start and end of [Phy] and [Phy + Men]. Bold two-headed arrows between dashed lines show duration of evaluation. Bpm: beats per min; EMG_{rms}: calculated root mean square values of EMG over 20 ms (time constant, 50 ms). [Rest]4, [Phy]2 and [Phy + Men]2: See Fig. 1.

心拍変動量は全ての被験者で正の値であり、その平均は8.4 bpm (6.2) であった、ペア心拍変動量が3ペアとも正の値であった者が11名おり、8名は少なくとも1ペア以上で負の値を示した。

5. Hb 変動値比較

「身体」時と「複合」時の ΔHb の平均値と標準偏差、および ΔHb を比較した結果得られた p 値を Table 4 に示した。全被験者で比較したところ、「身体」時に比べて「複合」時で、 $\Delta DeoHb$ は小さかった ($p = 0.013$)。一方、 $\Delta OxyHb$ は大きく $\Delta TotHb$ は小さい傾向を示したものの有意な差は認められなかった。課題と反復経時要因の交互作用はなく、いずれの ΔHb も、反復経時要因による有意な差は認められなかった (Table 5)。

同様に、全被験者について ΔsHb を比較したところ、「身体」時に比べて「複合」時で $\Delta sDeoHb$ は小さかった ($p = 0.021$)。 $\Delta sOxyHb$ は大きい傾向を示し ($p = 0.391$)、 $\Delta sTotHb$ は小さい傾向を示した ($p = 0.254$) が、有意な差は認められなかった。

右僧帽筋の触診所見別、およびペア心拍変動量別で

Table 2. Hemoglobin concentrations ($\mu\text{mol/l}$) in [Rest], [Phy] and [Phy + Men] ($n=20$)

OxyHb	[Rest]	[Phy]	[Phy + Men]
Mean	49.8	48.8	50.8
SD	7.1	6.0	6.1
Min	30.5	36.7	39.8
Max	62.7	61.7	64.4
DeoHb	[Rest]	[Phy]	[Phy + Men]
Mean	39.4	41.5	40.7
SD	7.0	8.5	7.9
Min	25.1	26.1	24.6
Max	58.4	70.9	56.5
TotHb	[Rest]	[Phy]	[Phy + Men]
Mean	88.2	90.0	90.8
SD	11.0	11.9	11.7
Min	63.6	66.0	63.2
Max	111.2	123.3	119.4

[Rest], [Phy] and [Phy + Men]: See Fig. 1. There was no significant differences ($p < 0.05$) in hemoglobin concentrations among [Rest], [Phy] and [Phy + Men] by one-way ANOVA. SD: standard deviation.

Table 3. Increases in heart rate

Subject No.	$HR_{inc-Men}$	$HR_{inc-pair}$		
		Pair 1	Pair 2	Pair 3
1	19.1	14.7	18.3	13.1
2	3.9	4.3	2.3	7.7
3	16.0	18.7	12.2	8.8
4	24.0	6.6	3.8	4.7
5	3.0	4.7	2.7	4.8
6	9.4	3.5	2.6	2.3
7	13.5	6.2	-0.7	-2.0
8	7.5	4.8	8.3	0.5
9	9.2	2.2	-1.9	1.6
10	4.5	—	2.4	4.2
11	0.4	2.3	2.3	-2.8
12	13.9	11.9	10.0	8.9
13	3.9	-1.9	-0.7	-5.0
14	1.1	-1.4	-6.0	1.2
15	5.1	-4.4	-4.5	-10.6
16	5.3	0.4	-1.3	5.5
17	4.0	2.7	-0.2	3.8
18	6.2	6.3	0.1	2.8
19	9.4	6.5	11.1	2.5
20	7.7	5.8	8.5	3.8

$HR_{inc-Men} = HR_{Men} - HR_{Rest1}$ ([Men], [Rest]1: See Fig. 1);
 $HR_{inc-pair} = HR_{Phy+Men} - HR_{Phy}$ ([Phy + Men], [Phy]: See Fig. 1); Pair: Pair of [Phy] and [Phy + Men] (numbers 1~3 correspond to order numbers of respective tasks).

ΔHb を比較した結果 (Table 4), ペア心拍変動量が全て正の値を示した群で, $\Delta DeoHb$ は有意に小さかった. しかし, 他の群では, $\Delta DeoHb$ は小さい傾向を示したが, 有意な差はなかった.

全被験者から, (a) ペア心拍変動量が3回とも負の値であった2名を除いて比較した場合, (b) 皮膚温が室温より低かった1名を除いて比較した場合, (c) つまみ力が1kg未満であった1名を除いて比較した場合, いずれの場合の ΔHb 比較でも「身体」時に比べて「複合」時で, $\Delta DeoHb$ は小さく ((a) $p = 0.024$, (b) $p = 0.025$, (c) $p = 0.015$), $\Delta OxyHb$ は大きい傾向 $\Delta TotHb$ は小さい傾向を示したが共に有意な差はなかった.

IV. 考 察

1. Hb 動態

「精神」心拍変動量が全員正の値を示したことから, 本実験で用いたCWTにより, 全被験者にストレス反応が惹起されたと考え, 全被験者でHb動態を解析した. その結果, 「安静」時からの変動量である $\Delta OxyHb$, $\Delta TotHb$ は, 「身体」時と比べて, 精神的ストレスが加わった「複合」時で有意な差は認められず, $\Delta DeoHb$ は, 「複合」時で有意に小さかった. NIRSで得られる測定値は, 皮下脂肪厚などの影響を受けるため, 測定値そのものを被験者間で比較することについては議論がある^{12, 13)}. そこで, Hb動態の指標として ΔsHb を用いた

Table 4. Descriptive statistics for values of variables in Hemoglobin concentration (ΔHb)

			$\Delta OxyHb$		$\Delta DeoHb$		$\Delta TotHb$	
			[Phy]	[Phy + Men]	[Phy]	[Phy + Men]	[Phy]	[Phy + Men]
All subject (n=20)		Mean	-0.5	0.3	2.5	0.1	1.9	0.4
		SD	5.2	4.5	6.2	5.1	10.1	8.8
		<i>p</i> value	0.281		0.013		0.230	
Grouping by palpation of right trapezius muscle	Induration (-) Tenderness (-) (n=2)	Mean	3.5	-0.1	3.6	-0.2	7.1	-0.3
		SD						
	Induration (+) Tenderness (-) (n=14)	Mean	-0.4	0.7	3.5	1.6	3.1	2.4
		SD	5.4	4.8	6.7	4.7	10.6	8.8
		<i>p</i> value	0.146		0.120		0.663	
	Induration (+) Tenderness (+) (n=4)	Mean	-3.0	-1.3	-1.6	-4.7	-4.6	-6.1
		SD	3.0	3.7	2.3	3.1	4.5	5.7
		<i>p</i> value	0.253		0.057		0.324	
	Grouping by $HR_{inc-pair}$	All $HR_{inc-pair} > 0$ (n=11)	Mean	-0.6	0.9	4.4	1.4	3.8
SD			4.0	3.4	6.9	5.4	9.6	7.9
<i>p</i> value			0.089		0.033		0.392	
at least one pair $HR_{inc-pair} < 0$ in 3 pairs (n=8)		Mean	-0.1	-0.2	0.6	-0.6	0.5	-0.8
	SD	6.7	5.7	4.2	3.8	10.5	9.2	
	<i>p</i> value	0.937		0.228		0.553		

$\Delta OxyHb$ and $\Delta DeoHb$: ΔHb of OxyHb and DeoHb; $\Delta Hb = Hb_{Task} - Hb_{Rest}$; Hb_{Task} : Mean Hemoglobin concentrations for each task; Hb_{Rest} : Mean Hemoglobin concentrations at resting just before each task; [Phy], [Phy + Men]: See Fig. 1; $HR_{inc-pair}$ see Table 3; *p* value were calculated by GLM repeated measures two-way ANOVA.

Table 5. Two-way analysis of variance of $\Delta OxyHb$, $\Delta DeoHb$ and $\Delta TotHb$ (n=20)

		Type III sum of square	DOF	Mean square	F value	p value
$\Delta OxyHb$	Task	18.019	1	18.019	1.23	0.281
	Error (task)	278.240	19	14.644		
	Order	13.918	2	6.959	0.81	0.452
	Error (order)	326.182	38	8.584		
	Task × order	4.015	2	2.008	0.16	0.851
	Error (task × order)	471.071	38	12.397		
$\Delta DeoHb$	Task	166.381	1	166.381	7.59	0.013
	Error (task)	416.724	19	21.933		
	Order	23.814	2	11.907	1.90	0.163
	Error (order)	238.083	38	6.265		
	Task × order	2.258	2	1.129	0.13	0.880
	Error (task × order)	335.052	38	34.103		
$\Delta TotHb$	Task	74.576	1	74.576	1.54	0.230
	Error (task)	922.050	19	14.644		
	Order	46.133	2	23.067	1.01	0.373
	Error (order)	865.940	38	22.788		
	Task × order	7.790	2	3.895	0.11	0.892
	Error (task × order)	1295.923	38	34.103		

Task: [Phy] and [Phy + Men]; order: 1st, 2nd and 3rd trial; DOF: degrees of freedom; $\Delta OxyHb$, $\Delta DeoHb$, $\Delta TotHb$. See Table 4.

ところ、 $\Delta sOxyHb$, $\Delta sTotHb$ に有意な差は認められず、 $\Delta sDeoHb$ は有意に小さかった。また、筋触診所見別、およびペア心拍変動量別で ΔHb を比較したところ、いずれの群でも $\Delta DeoHb$ は有意ではなかったものの、全被験者での結果と同様の傾向を示した。そして、ペア心拍変動量が3回ともマイナスの被験者、皮膚温やつまみ力が低値の被験者を除外した比較では、全被験者と同様の結果であった。これらのことから、本実験で負荷したCWTという精神的ストレスは、僧帽筋内の $\Delta DeoHb$ に影響を及ぼしたと考えられた。

一般に、筋組織内のTotHb濃度が一定の場合、OxyHb濃度とDeoHb濃度は、単位時間あたりに消費される酸素量と血流速度によって規定される。本結果でみられたようにDeoHb濃度が減少するのは、血流速度が下降せずに酸素消費量が減少する場合と、酸素消費量が増加せずに血流速度が上昇する場合が考えられる。筋の血流量は、血流速度とTotHb濃度の積に比例するため、本結果でTotHb濃度に差が認められないこと、および精神的ストレスにより僧帽筋の血流量は減少すること^{15, 21-23)}からすると、精神的ストレスにより血流速度が上昇したとは考え難い。したがって、本結果で $\Delta DeoHb$ が減少したのは、精神的ストレスによって、僧帽筋の酸素消費量が減少した可能性を示すものとも考えることもできる。

精神的ストレスが筋組織に及ぼす影響については、自律神経-内分泌系の活性化による筋組織内の循環への影

響^{21-23, 25)}や、筋紡錘を介した運動調節活動への影響²⁵⁾などが報告されているが、筋組織内の酸素消費への影響については報告がない。今後、精神的ストレスと僧帽筋での酸素消費動向については、一層の研究が必要と考える。

2. 実験条件

2-1. 上肢挙上

VDT作業や手話通訳作業などにおいてよく観察される上肢を中空保持する肢位は、頸肩腕障害の発症要因とされている^{1, 8)}。本実験では、そうした上肢作業と同程度の身体負荷として上肢を側方水平位に挙上させ保持させる肢位を採用した。

ただし、本実験での課題は1分間であったため、1分経過後も筋活動が持続した場合の筋組織での酸素消費について議論できる情報は得ていない。一般に、一連続作業時間が長くなると、頸肩腕障害発症リスクが高まる。精神的ストレスを長時間与えた場合の筋内Hb動態と頸肩腕障害の発生については、今後検討すべきと考えられる。

2-2. CWT

CWTは、実験的に精神的ストレスを与える方法として広く使用されている²⁷⁾。実験室内で精神的ストレスとしてCWTを負荷した研究^{28, 29)}では、安静時に比べて心拍数がそれぞれ8.0 bpm, 10.4 bpm上昇している。

また、演算入力を行う VDT 作業では、7.0 bpm 上昇したことが報告されている³⁰⁾。本実験では、CWT 単独の負荷により、心拍数が 8.4 bpm 増加したことから、本実験でのストレス反応の大きさは、従来の研究を超えない程度であったと考えられる。

3. 被験者

僧帽筋の触診所見と Hb 動態の関連を検討した先行研究¹⁶⁾では、筋硬結や圧痛所見の有無が上肢挙上時の僧帽筋の Hb 動態に影響することを観察した。本実験では、精神的ストレスを負荷した時の筋内 Hb 動態が、筋硬結と筋圧痛の有無により異なる可能性を考え検討したが、明らかな差は認められなかった。また、皮膚温が室温より低い者やつまみ力が 1 kg 未満の者各 1 名を除外した解析も行なったが、結果は全体の結果と同様であった。

V. 結 語

20名の被験者について、身体的負荷および精神的ストレスを1分間与えた時の僧帽筋内のHb動態を、NIRSを用いて測定し、比較した。その結果、精神的ストレスにより、上肢挙上時の筋組織内の $\Delta OxyHb$ 、 $\Delta TotHb$ は有意な変化はなかったものの $\Delta DeoHb$ が有意に低下した。可能性のある一つの機序として、精神的ストレスにより僧帽筋の酸素消費量が減少したことが考えられた。今後、長時間の身体的負荷および精神的ストレスが筋内Hb動態に及ぼす影響について検討するべきであると考える。

謝辞：本実験に参加いただいた被験者に感謝する。本研究は、平成14～15年度厚生労働省科学研究費補助金労働安全衛生総合研究費「上肢における筋骨格系障害の診断と防止に関する研究」(課題番号14-28)、および、平成17年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究)を受けた(課題番号17390172)。

参考文献

- 1) Jeremiah A. Musculoskeletal disorders and the workplace. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001.
- 2) 労働省労働基準局. キーパンチャーの作業管理について(基発第1106号). 1964.
- 3) 厚生労働省労働基準局. VDT作業における労働衛生管理のためのガイドライン(基発第0405001号). 2002.
- 4) Sjøgaard G, Lundberg U, Kadefors R. The role of muscle activity and mental load in the development of pain and degenerative processes at the muscle cell level during computer work. *Eur J Appl Physiol* 2000; 83: 99-105.
- 5) Ranney D. Chronic musculoskeletal injuries in the workplace. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1997.
- 6) Kitahara T, Schnoz M, Läubli T, Wellig P, Krueger H. Motor-unit activity in the trapezius muscle during rest,

- while inputting data, and during fast finger tapping. *Eur J Appl Physiol* 2000; 83: 181-189.
- 7) Zennaro D, Läubli T, Krebs D, Klipstein A, Krueger H. Continuous, intermitted and sporadic motor unit activity in the trapezius muscle during prolonged computer work. *J Electromyogr Kinesiol* 2003; 13: 113-124.
 - 8) Blair S, Djupsjöbacka M, Johansson H, et al. Neuromuscular mechanisms behind chronic work-related myalgias: an overview. In: Johansson H, Windhorst U, Djupsjöbacka M, Passatore M, eds. Chronic work-related myalgia. Gävle: Gävle University Press, 2003: 5-46.
 - 9) Järvholm U, Palmerud G, Styf J, Herberts P, Kadefors R. Intramuscular pressure in the supraspinatus muscle. *J Orthop Res* 1988; 6: 230-238.
 - 10) Larsson R, Åke Öberg P, Larsson SE. Changes of trapezius muscle blood flow and electromyography in chronic neck pain due to trapezius myalgia. *Pain* 1999; 79: 45-50.
 - 11) 日本生理人類学会計測研究部会編. 人間科学計測ハンドブック. 東京: 技報堂出版株式会社, 1998: 174-181.
 - 12) Boushel R, Langberg H, Olesen J, Gonzales-Alonzo J, Bülow J, Kjær M. Monitoring tissue oxygen availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease. *Scand J Med Sci Sports* 2001; 11: 213-222.
 - 13) Quaresima V, Lepanto R, Ferrari M. The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *J Sports Med Phys Fitness* 2003; 43: 1-13.
 - 14) van Beekvelt MCP, Colier WNJM, Wevers RA, van Engelen BGM. Performance of near-infrared spectroscopy in measuring local O₂ consumption and blood flow in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2001; 90: 511-519.
 - 15) Lundberg U. Psychophysiology of work: stress, gender, endocrine response, and work-related upper extremity disorders. *Am J Ind Med* 2002; 41: 383-392.
 - 16) 埜田和史, 辻村裕次, 北原照代, 平田 衛, 中村賢治, 西山勝夫. 頸肩腕障害における筋触診所見と筋中ヘモグロビン動態. *産衛誌* 2004; 46増刊号: 526.
 - 17) 日本産業衛生学会頸肩腕症候群委員会. 「手指作業」健康診断のためのアンケートについて. *産業医学* 1972; 14: 425-427.
 - 18) 松原達哉編著. 心理テスト法入門. 東京: 日本文化科学社, 2002: 143-144.
 - 19) 労働省労働基準局. キーパンチャー等の上肢作業にもとづく疾病の業務上外の認定基準について(基発第59号). 1975.
 - 20) 労働省労働基準局. 金銭登録作業の作業管理について(金銭登録作業に従事する労働者に係る特殊健康診断について)(基発第188号). 1973.
 - 21) Weber A, Fussler C, O'Hanlon JF, Gierer R, Grandjean E. Psychophysiological effects of repetitive tasks. *Ergonomics* 1980; 23: 1033-1046.
 - 22) Westgaard RH, Bjørklund R. Generation of muscle tension additional to postural muscle load. *Ergonomics* 1987; 30: 911-923.
 - 23) Wærsted M, Bjørklund RA, Westgaard RH. Shoulder muscle tension induced by two VDU-based tasks of different complexity. *Ergonomics* 1991; 34: 137-150.

- 24) 市岡正道, 星 猛, 林 秀生, ほか (共訳). 医科生理学展望. 東京: 丸善株式会社, 1994.
- 25) Johansson H, Arendt-Nilsson L, Bergenheim M, et al. Epilogue: an integrated model for chronic work-related myalgia "Brussels Model". In: Johansson H, Windhorst U, Djupsjöbacka M, Passatore M, eds. Chronic work-related myalgia. Gävle: Gävle University Press: 2003: 291-300.
- 26) Lundberg U, Frankenhaeuser M. Stress and workload of men and women in high-ranking positions. *J Occup Health Psychol* 1999; 4: 142-151.
- 27) Jensen AR, Rohwer Jr. WD. The stroop color-word test: a review. *Acta Psychol (Amst)* 1966; 25: 36-93.
- 28) Frankenhaeuser M, Johansson G. Task demand as reflected in catecholamine excretion and heart rate. *J Human Stress* 1976; 2: 15-23.
- 29) Lundberg U, Kadefors R, Melin B, et al. Psychophysiological stress and EMG activity of the trapezius muscle. *Int J Behav Med* 1994; 1: 354-370.
- 30) Kumashiro M. A mechanism of mental stress response on VDT performance. In: Grandjean E, ed. Ergonomics and health in modern offices. London: Taylor and Francis Ltd., 1984: 240-247.

Effect of Mental Stress on Hemoglobin Dynamics in Trapezius Muscles

Kenji NAKAMURA¹, Kazushi TAODA², Teruyo KITAHARA², Hiroji TSUJIMURA² and Katsuo NISHIYAMA²

¹Osaka Institute of Social Medicine, Fukushima Horo Nishiyodo Bldg. 3F, 3-6-8, Nozato, Nishiyodogawa-ku, Osaka, Japan and

²Division of Preventive Medicine, Department of Social Medicine, Shiga University of Medical Science

Abstract: We examined the effect of mental stress on hemoglobin concentrations in the trapezius muscles of 20 healthy, non-smoking women. The participants held their arms out horizontally (physical stimulus) while standing upright for 1 min with 5 min intervals of seated rest, or performed Stroop's Color Word Test (mental stimulus), or both simultaneously. We measured heart rate, muscle tissue hemoglobin (oxy-hemoglobin, OxyHb; deoxy-hemoglobin, DeoHb; total hemoglobin, TotHb) concentrations in, and obtained surface electromyograms from the right upper trapezius muscle. Changes in the hemoglobin concentration ($\Delta OxyHb$, $\Delta DeoHb$, $\Delta TotHb$) induced by physical and/or mental stimuli were calculated.

Changes with physical stimulus alone were compared with those induced by physical plus mental stimuli using repeated measures ANOVA. The $\Delta DeoHb$ with physical and mental stimuli was significantly lower ($p=0.013$) than that with the physical stimulus alone, whereas the $\Delta OxyHb$ and the $\Delta TotHb$ values did not significantly differ ($p=0.281$, $p=0.230$). This finding indicates that mental load affects $\Delta DeoHb$ in the trapezius muscle. We think that mental stimulus might provoke a reduction in oxygen consumption by the trapezius muscle. Further investigations using a longer duration of physical and mental stimuli are required.

(*San Ei Shi* 2007; 49: 225-233)