

上肢作業における筋負担に関する生理学的検討
—近赤外線分光法による僧帽筋領域の血流動態の測定—

Physiological study of muscular stress in manual tasks
—Measurement of hemodynamics in the trapezius muscle region by near-infrared spectroscopy—

小野 雄一郎*	今枝 敏彦*	栗田 秀樹**
巽 あさみ***	山本 恵申****	蛭田 秀一*****
島岡 みどり*****	安藤 詳子*****	堀 文子*****
服部 洋児*****	山田 宏*****	吉田 勉*
谷脇 弘茂*	長岡 芳*	

Yuichiro ONO *	Toshihiko IMAEDA *	Hideki KURITA **
Asami TATSUMI ***	Yoshinobu YAMAMOTO ****	Shuichi HIRUTA *****
Midori SHIMAOKA *****	Shoko ANDO *****	Fumiko HORI *****
Yoji HATTORI *****	Hiroshi YAMADA *****	Tsutomu YOSHIDA *
Hiroshige TANIWAKI *	Kaoru NAGAOKA *	

A new near-infrared spectroscopy was applied to measure the changes in oxidation and hemodynamics in the left trapezius muscle region during experimental manual tasks. Subjects were comprised of male researchers and students with shoulder stiffness, those without symptoms, and nursery school workers with shoulder pain. They were asked to hold the left arm vertically with 180 degrees flexion of the shoulder joint for 90 seconds (task1). Those without shoulder pain had an additional task with holding the left arm horizontally in the sagittal plane with 90 degrees flexion of the shoulder joint for 90 seconds (task2). Using the spectroscopy, we measured relative changes in concentrations of oxyhemoglobin (Δ oxyHb), deoxyhemoglobin (Δ deoxyHb), and total hemoglobin (Δ totalHb) as well as estimated oxygen saturation (StO₂) in the region to a depth of 30mm from the skin surface. The totalHb and Δ oxyHb decreased during the task1 but increased during task2, which implied that the physiological measurement of muscle circulation revealed a different aspect from biomechanical evaluation in

* 藤田保健衛生大学医学部公衆衛生学
** 藤田保健衛生大学医学部衛生学
*** 藤田保健衛生大学衛生学部衛生看護学
**** 藤田保健衛生大学短期大学臨床免疫学
***** 名古屋大学総合保健体育科学センター
***** 名古屋大学医学部保健学科看護学
***** 岐阜医療技術短期大学
***** 大同工業大学
***** 名古屋大学大学院工学研究科マイクロシステム工学
* Department of Public Health, Fujita Health University School of Medicine
** Department of Hygiene, Fujita Health University School of Medicine
*** Fujita Health University School of Health Sciences
**** Department of Clinical Immunology, Fujita Health University College
***** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University
***** Nagoya University School of Health Sciences
***** Gifu College of Medical Technology
***** Daido Institute of Technology
***** Nagoya University Graduate School of Engineering

studying work stress of manual tasks. Subjects with shoulder pain had lower Δ oxyHb, Δ deoxyHb, and Δ totalHb than those without pain. This finding would support the hypothesis that patients with shoulder myalgia have a reduced muscle blood flow when compared with healthy people because of disrupted control mechanisms responsible for regulating circulation in muscles. Some limitations of the methodology and reservations in interpreting the results were also discussed.

1. 緒 言

産業の現場では上肢の反復使用および特定肢位の継続的保持により慢性的な肩こりや頸肩腕部のだるさ・痛み等に苦しむ労働者が少なくない¹⁾。このような作業関連性の筋痛の病態については γ 運動ニューロンおよび筋紡錘求心性神経線維 (MSA)・ α 運動ニューロンを介しての筋緊張の悪循環形成過程⁶⁾や交感神経活動亢進の影響¹⁰⁾が推定されている。また、過度の筋緊張や職業的な筋作業が primary fibromyalgia の場合と同様に筋細胞内の Ca^{2+} イオンの増加を引き起こし、2次的に筋の変性を生じるとの発生過程も推定されている³⁾。一方、筋痛を有する患者や fibromyalgia の患者において筋内血液循環や筋血流量制御機構の障害、筋血流量の低さや筋内酸素分圧の低下等が示唆されてきている^{2),8)}。これまで、動作中の筋内の血行動態を経時的に把握するためには電極の刺入による筋内組織酸素分圧測定が行われたこともあった⁴⁾。しかし、近年筋のような深い部位の組織血行動態を非観血的かつ経時的に測定し得る近赤外線分光法が開発され、関連して

血液酸素飽和度を推定するソフトウェアも公表された。本研究では、上肢を一定の肢位に保持するモデル作業を実施した場合の僧帽筋組織の酸素飽和度と、ヘモグロビン変化量を測定することにより、作業の違いによる筋血流動態の違いを検討し、また肩の筋痛を有する者と健常者の筋血流動態の違いについても明らかにすることをめざした。

2. 方 法

医学研究者男性7名 (G 1群)、医学生男性2名 (G 2群)、保育所職員男性2名 (G 3群)・女性4名 (G 4群)を測定被験者とした。医学研究者と医学生は肩こりや肩の筋痛を自覚しない6名と、筋痛はないが肩こりを自覚する3名に区分して検討した。平均年齢は前者39.0歳 (SD10.9)、後者36.0歳 (SD11.5)であった。保育所職員はいずれもアンケートによるスクリーニングにおいて左右の肩こりと筋痛をこの1ヶ月間に自覚した者であった。保育所職員の平均年齢は男性39.0歳 (SD7.1)、女性34.0歳 (SD8.7)であった。測

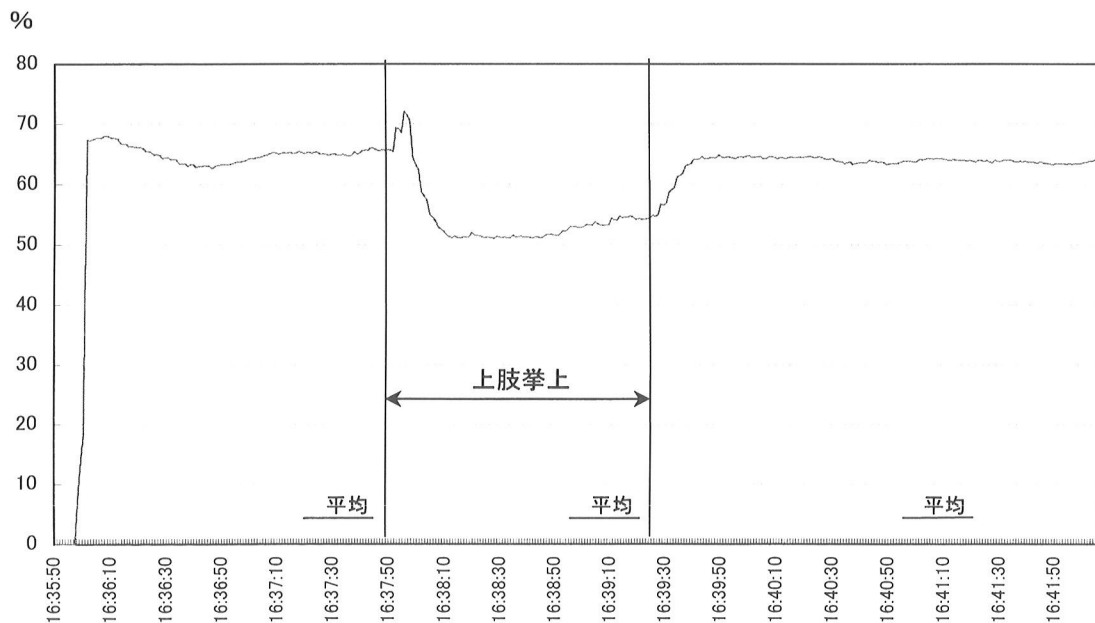


図1 組織酸素飽和度推定値の経時的変化

定前に趣旨を簡潔に説明して同意を得た上、測定を行った。なお、肩こりのランクとして、なしを0、症状があるが気にするほどでない者を1、症状があり気になるがそのままにしている者を2とした。

筋組織における血液酸素飽和度推定値を測定するために組織オキシメータ (PSA-500、バイオメディカルサイエンス社) を用いた。この機器は、近赤外光を用いて組織中の酸素化ヘモグロビン変化量 Δ oxyHb と還元ヘモグロビン変化量 Δ deoxyHb、総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb を測定することにより、組織中の酸素飽和度 StO₂ をコンピュータを用いて計算し推定するように設計されている。サンプリング rate は、1 サンプル/秒とした。センサーには深度30mm用の角型の専用センサーを用い、被験者の左僧帽筋上部の中央において筋の走行に対して直角に配置した。接着には両面テープを用いた。測定開始3～4秒前から被験者肩部を測定者がセンサー上から圧迫し、測定開始と同時に肩部の圧迫を除いた。測定値について、ヘモグロビンの吸光度値を濃度に換算するために、ヘモグロビンの分子量68000、Wrayら (1988)¹³⁾ に準拠した光路長推定式 $4.3 \times$ 測定深度 (本測定では3.0cm) を用いて g/liter 単位となるように計算した。

実施作業内容は、上肢垂直挙上保持 (作業1) および上肢前方挙上保持 (作業2) とした。被験者には両上肢を下方に垂直に垂らしたまま、軽く背もたれにもたれる姿勢で椅子に腰掛けさせ、測定開始後1分～1分30秒間は静止した姿勢を保たせた。次に口頭の合図

とともに上肢を1分30秒間挙上保持させた。作業1においては、肩関節を180度屈曲させ、肘関節は伸展位 (0度) のままとした。作業2では、肩関節を90度屈曲させ、肘関節は伸展位 (0度) のままとした。その後、口頭の合図により上肢を下方に垂直に垂らさせ、3～4分間測定を行った。測定中は躯幹と頸部を動かさぬように依頼した。上肢前方挙上保持 (作業2) は、上肢垂直挙上保持 (作業1) と同一の時間設計のもとに医学研究者と医学生のみを対象に作業1の終了後に実施した。

測定値の基本的なパターンは図1のようになる。上肢挙上保持動作開始直前、挙上保持終了直前、挙上保持終了1分30秒後の各20秒間の測定値について各々の平均を求めた。統計的検定方法として一元配置分散分析と Duncan の多重範囲検定、対応のある平均値の差の検定等を用いた。

3. 結 果

上肢垂直挙上保持 (作業1) (表1, 2)

動作開始前において、酸素飽和度 StO₂ は群間で有意に異ならなかった。しかし、総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb と酸素化ヘモグロビン変化量 Δ oxyHb、還元ヘモグロビン変化量 Δ deoxyHb が群間で有意に異なった (表1)。これらの測定項目はいずれも Duncan の多重範囲検定において G 1, 2 群をまとめたグループと G 3, 4 群をまとめたグループ間に有意差があった。すな

表1 上肢垂直挙上保持 (肩関節180度屈曲・肘関節伸展) に関する測定値

群の特性					動作開始直前値20秒間								動作終了直前値20秒間								動作終了後1分30秒～1分49秒目の20秒間										
群 性	職 種	n	肩こり		年齢	StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb		StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb		StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb			
			有無	ランク		有無	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	
G1	男 研究者・学生	6	-	0	-	39.0	10.9	66.7	3.6	1.871	0.467	1.436	0.361	0.436	0.134	58.0	11.5	1.529	0.412	1.066	0.397	0.463	0.157	68.5	4.2	2.075	0.462	1.622	0.333	0.453	0.158
G2	男 研究者・学生	3	+	1	-	36.0	11.5	67.5	3.6	1.813	0.655	1.401	0.503	0.413	0.165	72.6	21.9	1.266	1.285	0.872	0.939	0.394	0.347	68.1	3.8	1.794	0.568	1.397	0.444	0.398	0.145
G3	男 保育所職員	2	+	1.2	+	39.0	7.1	72.1	6.8	0.752	0.011	0.618	0.059	0.134	0.049	76.1	27.3	0.359	0.019	0.318	0.099	0.042	0.118	67.7	16.7	0.906	0.027	0.707	0.176	0.198	0.149
G4	女 保育所職員	4	+	2	+	34.0	8.7	67.9	10.0	0.688	0.185	0.533	0.141	0.155	0.089	76.8	12.8	0.545	0.366	0.479	0.312	0.065	0.094	62.3	6.1	0.785	0.192	0.568	0.154	0.217	0.064
分散分析の結果					NS	NS	**	**	*	NS	Δ	NS	*	NS	**	**	Δ														

NS not significant, $\Delta p < 0.10$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表2 上肢垂直挙上保持 (肩関節180度屈曲・肘関節伸展) に関する対応測定値の差

群	n	開始直前値 vs 終了直前値								開始直前値 vs 終了1分30秒以降															
		StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb		StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb									
		平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd								
G1	6	-8.5	8.9	Δ	-0.343	0.239	*	-0.368	0.222	*	0.027	0.102	NS	1.8	1.5	*	0.203	0.252	NS	0.187	0.179	Δ	0.017	0.084	NS
G2	3	5.0	19.0	NS	-0.546	0.633	NS	-0.531	0.449	NS	-0.019	0.199	NS	0.6	0.8	NS	-0.018	0.136	NS	-0.005	0.085	NS	-0.014	0.049	NS
G3	2	4.0	20.6	NS	-0.390	0.030	*	-0.298	0.041	Δ	-0.092	0.071	NS	-4.5	9.9	NS	0.153	0.015	*	0.092	0.116	NS	0.066	0.101	NS
G4	4	9.0	4.6	*	-0.145	0.389	NS	-0.054	0.336	NS	-0.090	0.058	Δ	-5.6	5.2	NS	0.096	0.016	**	0.034	0.034	NS	0.062	0.031	*

NS not significant, $\Delta p < 0.10$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

プラスは経時的な増加を、マイナスは減少を示す。

表3 上肢前方挙上保持（肩関節90度屈曲・肘関節伸展）に関する測定値

群の特性				動作開始直前値20秒間								動作終了直前値20秒間								動作終了後1分30秒—1分49秒目の20秒間												
群	性	職種	n	肩こり		肩筋痛	年齢 歳	StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb		StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb		StO ₂		Δ total Hb		Δ OXY Hb		Δ DEOXY Hb		
				有無	ランク			有無	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd
G1	男	研究者・学生	6	-	0	-	39.0	10.9	67.7	3.0	1.847	0.940	1.415	0.665	0.431	0.281	68.1	5.4	2.312	0.822	1.776	0.545	0.536	0.291	66.7	3.3	2.010	1.057	1.524	0.757	0.486	0.307
G2	男	研究者・学生	3	+	1	-	36.0	11.5	68.6	5.2	1.613	1.156	1.235	0.874	0.378	0.293	69.7	5.1	1.752	1.570	1.364	1.167	0.388	0.408	66.3	2.3	1.695	1.150	1.288	0.874	0.408	0.282
t-検定の結果				NS		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

NS not significant, Δp < 0.10, *p < 0.05, **p < 0.01

表4 上肢前方挙上保持（肩関節90度屈曲・肘関節伸展）に関する対応測定値の差

群	n	開始直前値 vs 終了直前値								開始直前値 vs 終了1分30秒以降															
		StO ₂ %		Δ total Hb g/liter		Δ OXY Hb g/liter		Δ DEOXY Hb g/liter		StO ₂ %		Δ total Hb g/liter		Δ OXY Hb g/liter		Δ DEOXY Hb g/liter									
		平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd	平均	sd								
G1	6	0.4	3.3	NS	0.465	0.389	*	0.361	0.238	*	0.104	0.158	NS	-0.9	1.4	NS	0.164	0.349	NS	0.110	0.268	NS	0.054	0.083	NS
G2	3	1.1	1.5	NS	0.139	0.443	NS	0.132	0.337	NS	0.007	0.112	NS	-2.3	3.6	NS	0.083	0.022	*	0.054	0.003	**	0.028	0.020	NS

NS not significant, Δp < 0.10, *p < 0.05, **p < 0.01 プラスは経時的な増加を、マイナスは減少を示す。

わち、筋痛を有する群では無い群に比べてヘモグロビンの変化量が少なかった。挙上保持動作終了前も酸素飽和度 StO₂ は群間で有意には異ならなかった。一方、還元ヘモグロビン変化量 Δ deoxyHb が群間で有意に異なり、総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb も異なる傾向を示した。Δ deoxyHb の値は Duncan の多重範囲検定において、G 3, 4 群 ≤ G 2, 4 群 ≤ G 1, 2 群の順となった。平均値を見るといずれのヘモグロビン変化量もこの傾向を示したが統計的に有意ではなかった。動作終了後も、総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb と酸素化ヘモグロビン変化量 Δ oxyHb が群間で有意に異なった。これらについて Duncan の多重範囲検定において G 1, 2 群をまとめたグループと G 3, 4 群をまとめたグループ間に有意差を認めた。すなわち、動作開始前と同様、筋痛を有する群では無い群に比べてヘモグロビンの変化量が少なかった。

次に測定値の経時変化を見ると、上肢を垂直に挙上保持中は、肩部の酸素飽和度 StO₂ が G 1 群で減少する傾向を示したが G 4 群では有意に増加した（表2）。総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb と酸素化ヘモグロビン変化量 Δ oxyHb は各群ともに減少する傾向を示したが、総ヘモグロビン変化量は G 1, G 3 群のみが、酸素化ヘモグロビン変化量は G 1 群のみが有意に減少した。挙上終了1分30秒以後は挙上開始前に比べて、酸素飽和度 StO₂ が G 1 群で有意に増加し、総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb が G 3, 4 群で有意に増加した。また、G 4 群では還元ヘモグロビン変化量 Δ deoxyHb が有意に増加した。一方、酸素化ヘモグロビン変化量 Δ oxyHb は G 1 群で増加傾向を示したものの他の群では有意な変化を示さなかった。

上肢前方挙上保持（作業2）（表3, 4）

上肢前方挙上保持について G 1 群と G 2 群間にはいずれの測定時点の平均値についても全項目について有意な差異を見いださなかった（表3）。測定値の経時変化を見ると、上肢を垂直に挙上保持中は、挙上開始前の値に比べ、G 1 群において有意に総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb と酸素化ヘモグロビン変化量 Δ oxyHb が増加した（表4）。しかし、挙上終了後1分30秒以降、G 1 群ではヘモグロビン変化量について挙上前と有意な差異が見られなかった。一方、G 2 群では挙上終了後1分30秒以降、総ヘモグロビン変化量 Δ totalHb と酸素化ヘモグロビン変化量 Δ oxyHb が挙上前よりも有意に上昇していた。酸素飽和度 StO₂ についてはいずれの時点でも有意な変化が認められなかった。

4. 考 察

筋痛の有無との関連

今回、筋痛を有する群では筋痛のない群に比べて酸素飽和度 StO₂ には差がみられなかったが、ヘモグロビンの変化量が少なかった。このことから、筋痛を有する者では筋組織での酸素の供給と消費が低レベルで行われつつも恒常性が保たれている可能性が示唆される。また、今回の結果は筋痛を有する者の筋における酸素消費や血流量を検討したこれまでの諸研究と矛盾していない。Lund ら⁹⁾ は酸素電極を用いて僧帽筋や腕橈骨筋の酸素分圧を測定している。その結果、fibromyalgia の患者では酸素分圧のデータが健常人のように正規分布せず、低い方へピークがシフトしてい

た。Bennett²⁾は前脛骨筋の血流を¹³³Xenon クリアランスにより測定し、fibromyalgia の患者では最大酸素摂取能の近似した座作業者と比べて筋血流量が有意に少ないことを見出している。しかし、Bengtsson¹⁾は筋生検を行い、fibromyalgia の患者と対照群健常人との間で単位面積当たりの毛細血管の密度に差のないことを報告している。このことから、筋血流量の減少が組織学的な差異によらずに筋血流量の制御機構の障害と関連している可能性が示唆されている²⁾。一方、Lindmanら⁸⁾はfibromyalgia 患者ではなく、作業と関連が想定される慢性的な頸肩部筋痛を有する患者と健常者の僧帽筋の生検を行い、typeI と typeIIA 筋線維に関して断面積当たりの毛細血管面積比が患者では健常者よりも小さいことを見出し、患者では筋内血液循環に障害が生じている可能性を推定している。以上のように毛細血管の面積比や密度が病理組織学的に健常人と異なっているかどうかの結論は得られていないが、筋血流量の減少や筋内の酸素分圧減少を引き起こす循環障害機構が働いている可能性が示唆されており、我々の今回の結果もこれを支持するものとなった。

上肢の垂直挙上と水平挙上による結果の差異

今回、筋痛のないG 1、G 2群について上肢垂直挙上（作業1）と前方挙上（作業2）の両方の作業負荷を荷した。その結果、G 1群については、総ヘモグロビン変化量と酸素化ヘモグロビン変化量が垂直挙上で作業前よりも減少し、前方挙上では増加した。すなわち、肩屈曲90度に当たる前方挙上では血流増加を示唆する結果を得たが、屈曲180度に相当する垂直挙上では血流の減少が示唆された。Larssonら⁷⁾も我々と類似した結果を報告している。彼らは健康な女性被験者の右僧帽筋内にセンサーを5～10mmの深さで刺入し、レーザードップラー血流計を用いて1分間の継続負荷時の筋血流を測定した。その結果、被験者が手に1kgの負荷を持って肩甲面で肩関節を屈曲した時、90度にするまでは血流量が上昇する傾向を示したが、135度になると血流量が低下した。彼らの結果と我々の結果から、健常者が肩屈曲90度程度の角度内で1分30秒以内の静的上肢挙上保持を行う場合には筋血流は減少せず、むしろ増加するものと考えられる。一方、135度を超える肩の屈曲を伴う上肢挙上保持においては、筋内の循環が阻害される可能性があるとして推定された。単純化されたスティックピクチャーを用いた静的肢位に基づくバイオメカニカルな肩関節のモーメント計算値は上肢垂直挙上（作業1）の方が前方挙上（作業2）よりもはるかに小さくなるが、今回の結果のように筋循環の生理学的負担についてみると、バイオメカニカ

ルな結果とは相反することが推定された。すなわち、作業負荷軽減対策を検討する場合には、バイオメカニカルな負荷の評価のみに頼らずに筋血液循環を含む生理学的な評価を行うことも併せて行うことが必要であると示唆された。なお、今回肩痛のある人間では作業姿勢による違いを比較検討していないため、無症状者と同等な変化が見られるかどうかの検討が今後求められる。

近赤外線分光法の有用性

従来の血行動態測定法は精度に欠ける点や、測定範囲の狭さや測定深度の浅さ、観血的であること、アイソトープの使用など多くの難点を有していた¹²⁾。一方、今回用いた近赤外線分光法は、非観血的に被験者に侵襲を加えることなく長時間血行動態をモニターできる方法として画期的な方法といえる。近年、今回の研究で用いたように30mmの深度まで測定可能なセンサーが開発され、今後の筋負担の生理学的解明に有用な手段が得られたものと考えられる。

測定上の限界と課題

今回の測定では、筋痛を有する群と筋痛のない群について別な日に別な場所で測定した。そのため、測定上の環境について制御できておらず、この点が交絡因子として影響している可能性を否定できない。今後、少なくとも測定日の室温については制御する必要がある。また、被験者の最大酸素摂取能や労働・日常生活上の筋活動状況、スポーツトレーニング状況等を把握していないため、群間の測定値の違いにこのような身体条件の違いが反映されている可能性も否定できない。これらの条件についても測定と並行して把握することが課題である。

また、作業負荷について、今回は1分30秒間の上肢挙上負荷を加えたにすぎず、より長い時間や高い筋負荷による検討⁵⁾は行っていない。今後、職場の予防対策につながるデータを得るためには、さらに現実の作業負荷に近似した状況をめざして、作業反復回数や時間、上肢肢位、他部位との位置関係等を多様に組み合わせた場合の影響について検討する必要がある。

今回用いた組織オキシメータPSA-500は製品化されてから時間が十分に経過しておらず、酸素飽和度推定値等の再現性・信頼性および有効性に関して十分につめきれていないため、今後さらに検討が必要である。特に上肢の肢位により測定部位に当たる深度30mmまでの肩部の僧帽筋の厚さや筋層・諸器官の配置が当初の安静位とは異なってくる可能性があり、肢位の変化に伴う構造的な変化と、この点に関する個人間の変動

の大きさについても基礎的なデータを積み重ねる必要がある。また、今回光路長の推定について準拠したWrayら¹³⁾の研究もラットの脳を用いたものであり、より妥当な光路長の推定値の求め方に関する基礎的検討が必要である。

(本研究は平成10年度私立大学等特別経常費補助金(特別補助)の対象となる共同研究「上肢反復作業における筋負担軽減対策についての労働生理学的検討」として、補助を得て行われたものである。)

参考文献

- 1) Bengtsson A: Primary fibromyalgia: A clinical and laboratory study, Linköping Univ Med Dissert 224 1986.
- 2) Bennett RM: The fibromyalgia syndrome: Muscle physiology and cold reactivity in the fibromyalgia syndrome, *Rheumatic Disease Clinics of North America*, 15: 135-147, 1989.
- 3) Edwards RH: Hypotheses of peripheral and central mechanisms underlying occupational muscle pain and injury, *Eur J Appl Physiol*, 57: 275-281, 1988.
- 4) Ehrly AM, Saeger-Lorenz K: Exercise-induced variations in muscle tissue oxygen pressure I claudicants: Effects of Buflomedil, *Blood Vessels*, 28: 27-32, 1991.
- 5) Jensen BR, Sjøgaard G, Bornmyr S, Arborelius M, Jørgensen K: Intramuscular laser-Doppler flowmetry in the supraspinatus muscle during isometric contractions, *Eur J Appl Physiol*, 71: 373-378, 1995.
- 6) Johansson H, Sojka P: Pathophysiological mechanisms involved in genesis and spread of muscular tension in occupational muscle pain in chronic musculoskeletal pain syndromes: A hypothesis, *Medical Hypotheses*, 35: 196-203, 1991.
- 7) Larsson SE, Cai H, Öberg Å: Microcirculation in the upper trapezius muscle during varying levels of static contraction, fatigue and recovery in healthy women - a study using percutaneous laser-Doppler flowmetry and surface electromyography, *Eur J Appl Physiol*, 66: 483-488, 1993.
- 8) Lindman R, Hagberg M, Ängqvist K-A, Söderlund K, Hultman E, Thornell L-E: Changes in muscle morphology in chronic trapezius myalgia, *Scand J Work Environ Health*, 17: 347-355, 1991.
- 9) Lund N, Bentsson A, Thorborg P: Muscle tissue oxygen pressure in primary fibromyalgia, *Scand J Rheumatol*, 15: 165-173, 1986.
- 10) 関野忠明: 肩こりの神経生理、頭痛と肩こり (後藤文男 編) エーザイ、11-19, 1987.
- 11) 小野雄一郎、島岡みどり、蛭田秀一、今枝敏彦、安藤詳子、堀文子、巽あさみ、山田宏、島正吾、吉田勉、谷脇弘茂、長岡芳、栗田秀樹: 社会福祉施設職員の頸肩腕痛および腰痛の有訴率、*総合保健体育科学* 22:69-79, 1999.
- 12) 重松宏、細井温、小宮山高士、安原洋、武藤徹一郎: 閉塞性動脈硬化症 血行動態検査、*日外会誌*, 97: 510-514, 1996.
- 13) Wray S, Cope M, Delpy DT, Wyatt JS, Reynolds EOR: Characterization of the near infrared absorption spectra of cytochrome aa3 and haemoglobin for the non-invasive monitoring of cerebral oxygenation, *Biochimica et Biophysica Acta*, 933: 184-192, 1988.

(1999年12月10日受付)