

琉球大学学術リポジトリ

児童・生徒の動作分析とEMG計測および意識調査による学校用家具の検討

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 福田英昭 公開日: 2007-09-13 キーワード (Ja): 動作分析, 意識調査, 体圧分布, 学校用家具, 児童, 生徒, 筋活動 キーワード (En): EMG, Motion Analysis, Consciousness Investigation, Body Pressure Profile, School Furniture, Child, Student, Muscular Activity 作成者: 福田, 英昭, Fukuda, Hideaki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/1787

児童・生徒の動作分析とEMG計測および
意識調査による学校用家具の検討

(研究課題番号 17500510)

平成17年度～平成18年度 科学研究費補助金
(基盤研究(C)) 研究成果報告書

平成19年3月

研究代表者 福田英昭
(琉球大学教育学部助教授)

はじめに

戦後、4度にわたって普通教室の机・椅子の規格が見直され、2002年度から新たな規格が使われているが、学校用家具の新しいJIS規格が良いものに定められても、児童・生徒の身体に合ったものが配分されなければ、その意義は大きく失われることになる。学校の教師側がこのことについてあまり意識していない点が、これまでの実態調査等の報告の中でも指摘されているが、学校居住環境における家具と身体寸法の適合率の低下の原因は未だ不明なままである。また、子ども達の背の高さだけを拠り所とする現在の机・椅子の規格の算出方法が、現代の子ども達に合わなくなってきており、さらに学習活動内容の時代的変化により、この適合率の低下をまねいているとも考えられ、子ども達の各身体寸法と学習活動と意識調査を含めた総合的な検討が急務と考えられる。

これまで著者らは、沖縄県内の小・中・高等学校において、普通教室用の机・椅子と身体寸法の適合率および使われ方の実態調査、アンケートによる児童・生徒・教師の机・椅子に対する意識調査を行い現状を明らかにし、その問題点・改善点を検討してきた。これにより、学習者および教師による家具の選定方法とその改善、同一校あるいは同地区における家具の再配分による適合率の上昇、学校用家具の製作者へのデザイン改善への助言等、適合率を上げるための有効な方策を得ることができた。

学校住環境における机・椅子は、児童・生徒の学習や活動と密接な関わりをもつため、身体に不適合な寸法の家具を長時間使用することは、苦痛や疲労の蓄積、姿勢を悪くする原因となり、学習効率の低下や発育阻害もしかねない要因となる。

そこで、本研究ではこれらの現状をふまえ、机・椅子の高さの違いによって生じる影響を検証するために、着座時の学習場面を設定し、大学生および中学生を対象として実験を行った。すなわち、高さの異なる机・椅子を使用してもらい、学習者の各筋肉部位の筋電図（EMG）を表面筋電計で測定し、筋肉の疲労度等から検証した。また、同時に椅子の座面にかかる体圧分布の計測を行い、さらにアンケートによる意識調査を行った。

この報告書が、今後の学校用家具の設計・開発研究や、学校現場での子どもたちの教育環境の改善策の一助になることを期待すると共に、同学諸賢のご指導とご叱声を得て、さらに研究を進展させたいと考えている。

本研究の実施にあたり、ご支援、ご協力をいたいたいた関係各位に、この場を借りて深く御礼を申し上げる。

2007年3月

研究代表者 福田 英昭

研究組織

研究代表者 : 福田英昭 (琉球大学教育学部助教授)

交付決定額（配分額）

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
平成17年度	2, 500, 000	0	2, 500, 000
平成18年度	1, 000, 000	0	1, 000, 000
総計	3, 500, 000	0	3, 500, 000

研究発表

1) 福田英昭, 舟戸亮, 水口和: 学習者のEMG計測, 体圧分布計測および意識調査による学校用家具の検討ー机・椅子の号数変化による大学生の意識および疲労の変化ー, 琉球大学教育学部紀要, 2008年発表予定

2) 福田英昭, 安里洋祐: 学習者のEMG計測, 体圧分布計測および意識調査による学校用家具の検討ー机・椅子の号数変化による中学生の意識および疲労の変化ー, 琉球大学教育学部紀要, 2008年発表予定

目 次

I. 緒言 ······	1
II. 大学生のEMG計測、体圧分布計測および意識調査による 学校用家具の検討 ······	3
1. はじめに ······	3
2. 計測方法およびアンケート調査方法 ······	3
2. 1 被験者 ······	3
2. 2 使用した机・椅子 ······	4
2. 3 作業内容と計測時間 ······	4
2. 4 表面筋電計によるEMGの計測 ······	5
2. 5 体圧分布の計測 ······	6
2. 6 アンケートによる意識調査 ······	6
3. 結果と考察 ······	7
3. 1 表面筋電計によるEMGの分析 ······	7
3. 2 RMS近似直線の傾きの分析 ······	8
3. 3 RMS平均値の分析 ······	10
3. 4 荷重分布重心の移動 ······	12
3. 5 荷重値の変化 ······	13
3. 6 ピーク荷重値および接触圧力の変化 ······	16
3. 7 アンケートによる意識調査 ······	18
4. 要約 ······	22
III. 中学生のEMG計測、体圧分布計測および意識調査による 学校用家具の検討 ······	24
1. はじめに ······	24
2. 計測方法およびアンケート調査方法 ······	24
2. 1 被験者 ······	24
2. 2 使用した机・椅子 ······	25
2. 3 作業内容と計測時間 ······	25
2. 4 表面筋電計によるEMGの計測 ······	26
2. 5 体圧分布の計測 ······	27
2. 6 アンケートによる意識調査 ······	27

3.	結果と考察	27
3.1	表面筋電計によるEMGの分析	27
3.2	RMS近似直線の傾きの分析	27
3.3	RMS平均値の分析	29
3.4	荷重分布重心の移動	30
3.5	荷重値の変化	30
3.6	ピーク荷重値および接触圧力の変化	33
3.7	アンケートによる意識調査	34
4.	要約	37
5.	今後の課題	38
	文献	39

I. 緒言

学校用家具の製作の拠り所として、古くは 1952 年に制定された J I S 規格がある。それは、戦後の粗悪品防止を主なねらいとしたものであった。当時の J I S 規格の普及率はかなり低く、実情は各地方に、それぞれの立場から規格を設けたり、メーカの推薦するものを採用したり、応急に設計したりというケースが多く、形状・寸法ともにまちまちであった¹⁻³⁾。

その後、1966 年には人間工学的な考え方を導入した新たな J I S 規格が制定された。文部省は 1968 年に、学校用家具が体位の著しく伸びた児童に適合しているかを検証するために、全国から無作為に抽出した 201 校の約 2 万名の公立小学校の児童に対して、児童の身長・座高と各自が使用している机・椅子の寸法ならびに材料・形式などの調査を行った。その結果、机・椅子の高さについてみると、適合した組み合わせのものを使用している児童は全体のわずか 4.4% であり、さらに、甲板の広さや物入れの厚さ、背もたれのあり方などの条件を絞っていくと、総合的に合格したものは全体の 0.7% という結果であった¹⁻³⁾。学校における机と椅子が、児童・生徒の学習能率や発育と密接な関係にあることはいうまでもなく、その意味で 1966 年の新しい J I S 規格は、人間光学的な面ばかりでなく、新しい材料の応用、強度試験への動的な方法の適用、学習方法の変化への適用等の点では、時宜に合った改正であったといえる。しかし、実際の適合率は低く、改善策を必要としていた²⁻⁵⁾。

また、1990 年には、身長 180cm 以上の生徒に見合う「特号」規格を新設した新 J I S 規格が 24 年ぶりに制定された⁶⁾。中学生と高校生で身長 180cm を超える生徒は男子だけでも約 12 万人いるという現状から見直しされたものであった。

さらに、1999 年に J I S 規格の改正が行われ、多様な教材に対応できるように机面寸法を拡大し、高さ調整が可能な椅子を対象とする等、学習形態の変化に対応する内容が示された。机・椅子の高さの号数はそれまでの 12 段階のサイズ分類を緩やかにして 0 号から 6 号までの 7 段階となり、号数が大きくなることでサイズが小さくなっていた点を改め、号数が大きくなることでサイズが大きくなるようにわかりやすく改正した⁷⁾。

ところで、大内・加藤らの 1972 年から 1974 年の調査²⁻⁴⁾によると、J I S 規格⁶⁾により適正值とされている机・椅子の高さと、実際に子どもたちが使用している机・椅子の高さの適合率は、小学校で約 4%，中学校で約 15% とかなり低く、実際は適正值より 2～3 号分だけ高いものが多く使用されていることがわかっている。1998 年に 1237 名の児童・生徒を対象にして、福田・小仙が行った普通教室用机・椅子に関する実態調査⁸⁾では、小学校の場合、机・椅子が共に適合している完全適合率は、全体の 5% と低い値を示し、また、中学校においてもその完全適合率は 9～37% と低い値であった。さらに、2000 年に 1131 名を対象にして、福田が行った実態調査⁹⁾では、完全適合率が小学校・中学校・高等学校で、それぞれ 12%，12%，10% と低い値であった。学校

用家具のJIS規格は、戦後からこれまで4回改正されているが、JIS規格が良いものに定められても、児童・生徒の身体に合ったものが配分され使用されなければ、その意義は大きく失われることになる。学校の教師側がこのことについてあまり意識していない点が、これまでの実態調査等の報告^{2-4, 8, 9)}の中でも指摘されている。また、机と椅子の号数の異なる組み合わせのものが多く使用されており、納入時のままの状態や、以前使われていたままの状態で、机・椅子の高さを身体に合うように調整しないまま使用しているという問題点も指摘されている。

机と椅子は、児童・生徒の学習や活動と密接な関わりをもつため、身体に不適合な家具の使用は、背骨をS字形に保つ補助具として機能せずに苦痛感・疲労感を与えるばかりでなく、学習能率・健康・発育を阻害することにもつながる。したがって、児童・生徒が個別に適切なサイズの机・椅子を使用できるように教育環境を整備していくことが必要である。一方で、JIS規格によって高さを正しく設定した机・椅子は、子どもたちから低すぎるという声が多く出されていると大迫は1986年に報告¹⁰⁾している。また、福田・上村の2000年と2002年の実態調査^{9, 11)}でも、JIS規格の適正值で設定された机・椅子よりも高さの高い机と椅子が子どもたちから望まれていた。また、福田・池田・十場の2002年に差尺（机の高さと座面の高さの差）を変化させた実験結果¹²⁾からも、机の高さをJIS適正值より高く設定したときに、適正と判断する児童が増えた結果が得られている。このように、小学校から高等学校において、高さが高すぎる机・椅子が配分されている実態であるにもかかわらず、児童・生徒はそれよりも高めの机・椅子を好むという現状があり、これには学習活動内容の変化や視力近視者の増加等の時代的な影響を合わせて分析していく必要がある。また、現代の児童・生徒の体形の変化と関連づけてJIS規格を再考していく必要がある。

そこで本研究では、大学生および中学生を対象として、高さの調節可能な机と椅子を使用し、被験者の身長をもとにJIS規格に則り割り出した適正值を基準として、机と椅子の高さを段階的に変化させて実験を行った。被験者の各筋肉部位の筋電図（EMG：Electromyography）を測定し、同時に椅子の座面にかかる体圧分布の計測を行い、また、アンケートによる意識調査も実施することで、机・椅子の高さの違いによって生じる影響を筋肉の疲労度や体圧分布等から検証した。

II. 大学生のEMG計測、体圧分布計測および意識調査による学校用家具の検討

1. はじめに

机・椅子の高さの違いによって生じる影響を検討するために、大学生を対象として、机と椅子の高さを段階的に変化させて実験を行った。被験者の各筋肉部位の筋電図(EMG)を測定し、同時に椅子の座面にかかる体圧分布の計測を行い、また、アンケートによる意識調査を実施した。

2. 計測方法およびアンケート調査方法

2. 1 被験者

調査対象者は、表1に示すように、琉球大学の学生8名（男性4名、女性4名）である。被験者の年齢は21～23歳（平均年齢は22歳）、身長は153～171cm（平均身長は163cm）、体重は47～63kg（平均体重は59kg）であった。実験において号数の変化は計3回行ったが、その順番による影響が出ないように、被験者毎に計測する号数の順序を無作為に変えた。表2はJIS規格による机・椅子の適正号数を示す表である。被験者の身長に一番近い標準身長をもとに、適正とされる机・椅子の号数を決定した。

表1 被験者の属性

被験者	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	適正号数(号)	号数の変化
A	男	23	171	62	5	5→6→4
B	女	23	160	61	5	4→5→6
C	女	22	153	47	4	5→3→4
D	男	23	168	63	5	5→6→4
E	男	22	171	63	5	6→5→4
F	女	20	162	59	5	5→4→6
G	女	22	163	57	5	4→5→6
H	男	21	158	60	5	4→6→5

表2 机・椅子の号数と寸法 (JIS S 1021: 1999年)

号数	0号	1号	2号	3号	4号	5号	6号
標準身長(cm)	90	105	120	135	150	165	180
机面高さ(cm)	40	46	52	58	64	70	76
座面高さ(cm)	22	26	30	34	38	42	46

2. 2 使用した机・椅子

使用した机・椅子は、図1と図2に示すヒノキクラフト社製の学童机セット（型式K-DN-GAD）であり、ヒノキの集成材で製作されたものである。ただし、各部材の接合部はステンレス製ボルトを使用し、集成材の表面は自然型の植物油脂性無公害塗料のオイルを使用していた。また、机・椅子は、いずれも学習者の身体の成長に合わせて高さの調節が可能な可動式であり、机では1990年のJIS規格の2～8号（1999年JIS規格の2～5号）、椅子では1990年のJIS規格の2～5号（1999年JIS規格の3～5号）の高さに調節が可能なものであった。なお、本研究では、1999年のJIS規格に則って号数を記載する。また、6号の高さの場合には、使用した机・椅子の高さ調整だけでは対応できないため、机の下に60mm、椅子の下に40mmの厚さの木製板の上に設置して使用した。机の天板の有効サイズは縦450×横650mm、椅子の座面の有効サイズは縦360×横360mm、椅子の背もたれの傾斜角100°であった。

2. 3 作業内容と計測時間

被験者に着座して行ってもらった作業内容は、学校での日常的な学習場面を想定して、原稿の書き写し作業とした。20文字×20行のA4サイズの原稿用紙に芯先0.5mmのシャープペンシルを使用して、日本国憲法を書き写すという内容であった。なお、被験者本人の作業しやすい姿勢で行ってもらい、書き写すスピードも被験者に一任した。

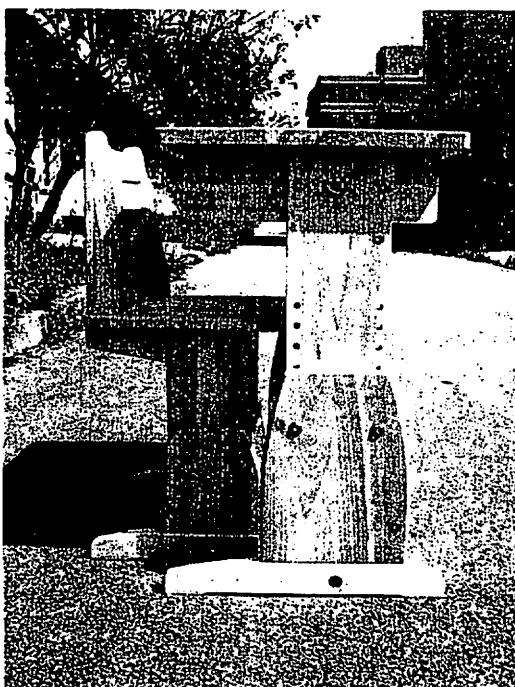


図1 机・椅子（側面からの写真）

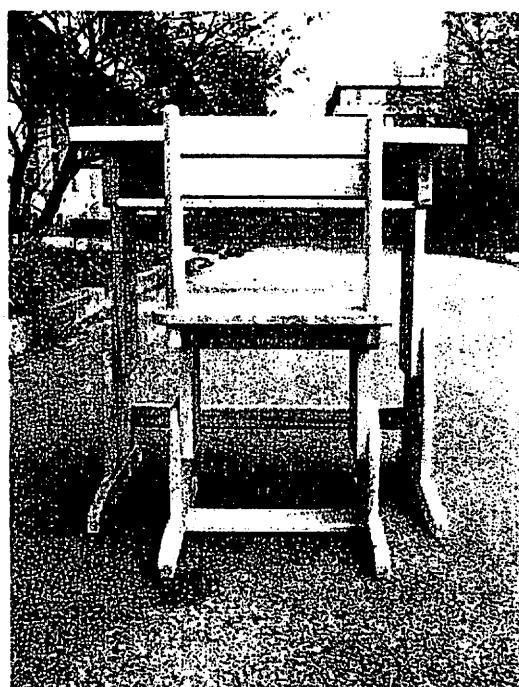


図2 机・椅子（後方からの写真）

被験者の身長から求めた J I S 規格による適正な高さ、その適正值より 1 号分低い高さ、その適正值より 1 号分高い高さの 3 段階に机・椅子の高さを変化させ、計測を行った。同じ号数での実験手順は、20 分間の書き写し作業の後、5 分間休憩（同時にアンケート回答記入）をし、引き続き同じ高さで 20 分間の書き写し作業をして、その後 10 分間の休憩（同時にアンケート回答記入）を行う手順とし、これを 1 セットとした。同一被験者は、机・椅子の高さを 3 段階に変えて、計 3 セットの計測を行った。

2. 4 表面筋電計による EMG の計測

EMG 計測で用いた表面筋電図は、ハードウェアが ProComp Infiniti(8 チャンネル、最大サンプルレート 2048 s/s)、ソフトウェアが BioGraph Infiniti であり、いずれも Thought Technology 社製のものであった。図 3 に実験装置の概念図を示す。

長時間の座位姿勢による疲労予想部位として、図 4 に示す右脊柱起立筋と右僧帽筋の 2 点を取り上げた¹³⁻¹⁵⁾。右脊柱起立筋と右僧帽筋にそれぞれ電極 (MyoScan EMG Sensor, 感度 0.1 μ V, Thought Technology 社製) を貼り付け、EMG の波形を測定した。図 5 は測定中の様子であり、今回の EMG の計測はサンプルレート 32 s/s で行った。なお、今回の被験者 8 名は全員右利きであったため、測定箇所の脊柱起立筋と僧帽筋は右側を採用した。

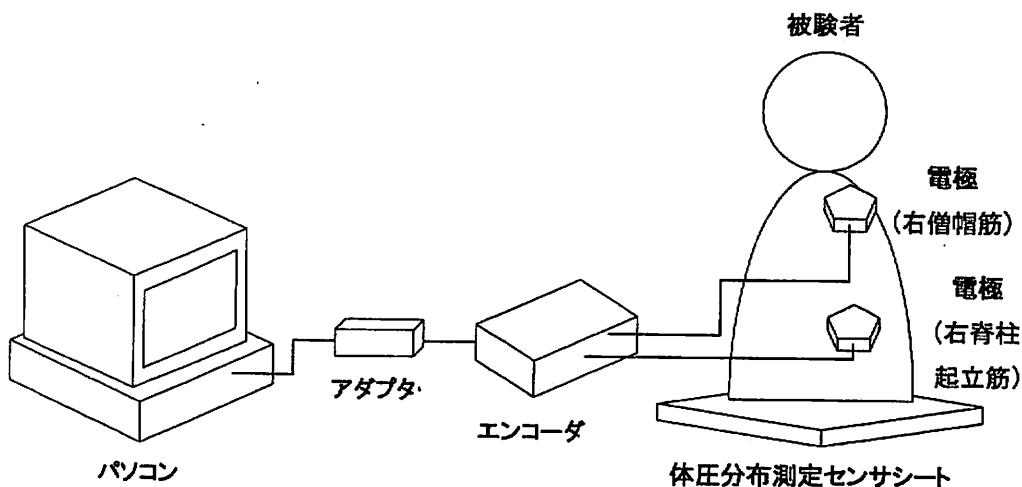
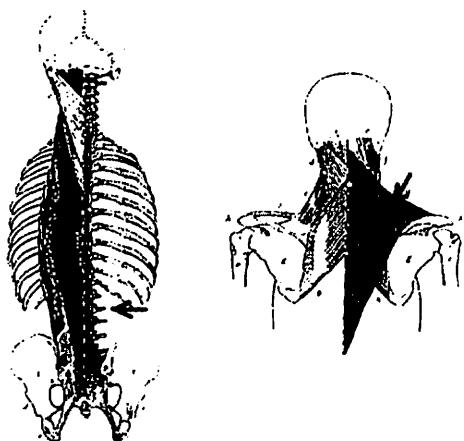


図 3 表面筋電計による EMG 計測実験の概念図

脊柱起立筋



僧帽筋



図4 EMG波形の測定部位

図5 測定中の様子

2. 5 体圧分布の計測

前述の図3、図5のように、被験者が着座する椅子の座面に体圧分布測定システム(ニッタ株式会社製の ClinSeat)のセンサシートの裏面四隅を両面テープで固定して計測を行なった。このシートは圧力センサセルが縦横に配列され、そのセンサセルに加わる圧力を測定するものである。このセンサ厚は0.4 mm、分解能は10 mm、マトリックス数は44×48個、測定範囲は2~20 kPaであった。計測の前には感度を設定し、被験者の体重に基づきキャリブレーションを行なった。また、計測時間は20分間×2回×3セット、計測間隔は2フレーム/秒とした。なお、体圧分布の分析は、附属ソフトウェアClinSeatで行い、このソフトウェアによってセンサから収集された圧力分布データが表示され、同情報を時系列のデータとして記録することができる。

2. 6 アンケートによる意識調査

20分間の書き写し作業直後の休憩時間に、アンケートによる意識調査を行った。アンケートの内容は、机・椅子のそれぞれについて、高さの感じ方と主観的疲労度、姿勢や背筋の変化をSD法による形容語の対の5段階尺度で答えてもらった。また、疲れを感じた身体部位については、アンケートの身体図中に3段階の疲労度で図示して回答してもらった。

なお、実験は2006年2月9日から2月16日の期間に行い、計測を行った室内の気温は17~23°C(平均気温20°C)、湿度は69~88%(平均湿度78%)であった。

3. 結果と考察

3. 1 表面筋電計によるEMGの分析

本研究では、筋電図の評価方法としてRMS法（root mean square）を用いた。

EMG信号のRMS化とは、波形の交流実効値をとる考え方である。表面筋電図の振幅幅を变量とみなして、その標準偏差を計算するものであり、式（1）に示す単位時間当たりの信号を自乗平均しその平方根を求める方法である¹⁶⁻¹⁷⁾。この操作は、ソフトウェア（BioGraph Infiniti）により行った。図6に測定されたRMS波形図の一例を示す。

$$RMS(EMG(t)) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} EMG^2(t) dt} \quad (1)$$

書き写し作業の20分間の周波数を分析し近似直線を算出し、その傾きを比較することで筋疲労の評価を行った。傾きが大きく負の値を示すほど筋疲労が起こっているということが確認されている¹³⁾。図7にRMS近似直線図の一例を示す。

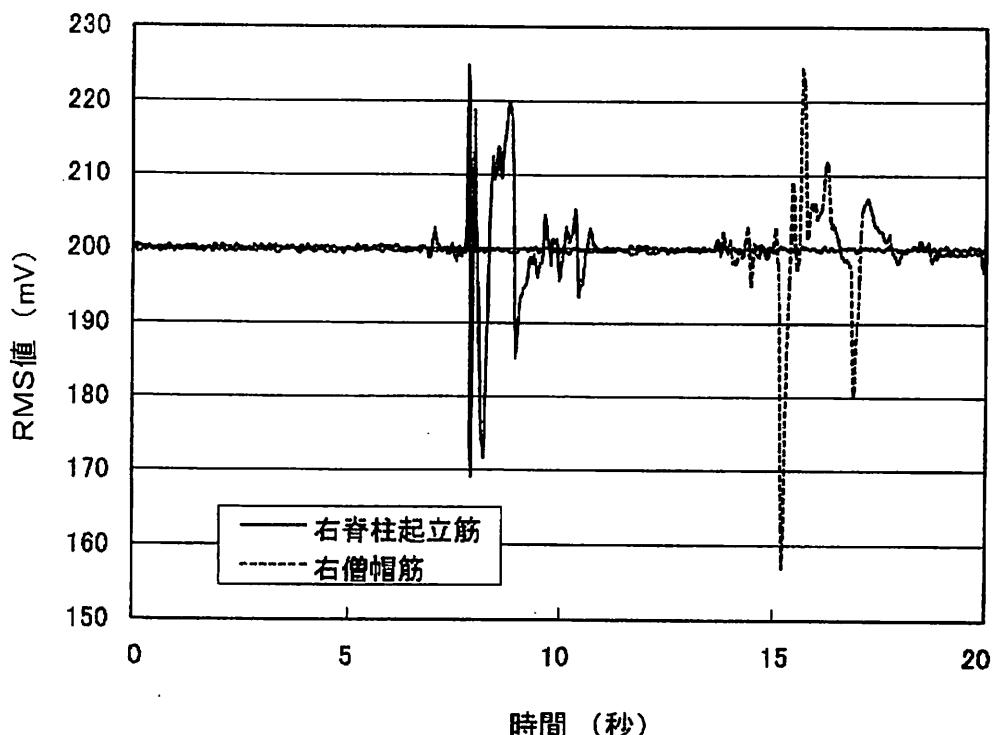


図6 RMS波形図の一例（右脊柱起立筋と右僧帽筋の2波形）

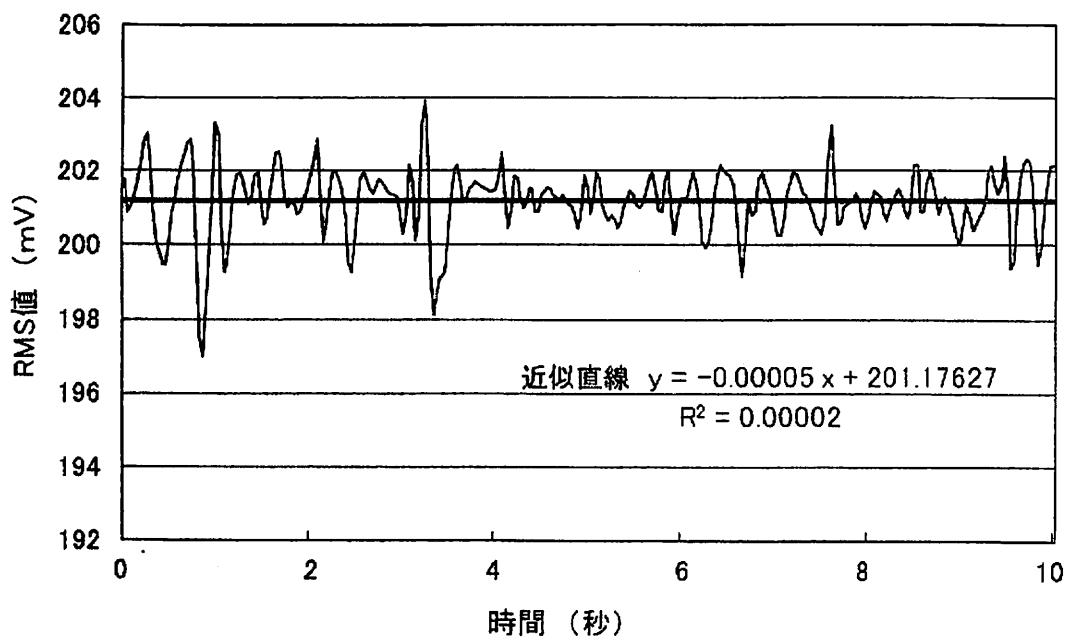


図 7 RMS 近似直線図の一例

3. 2 RMS 近似直線の傾きの分析

机・椅子の高さを段階的に変化させた場合の RMS 近似直線の傾きについて、脊柱起立筋については表 3 に、僧帽筋については表 4 にそれぞれ示す。表中の高さの「適」は被験者の身長から求めた J I S 規格による適正值の机・椅子の高さを表し、「低」は適正值よりも 1 号分だけ低く設定した場合、「高」は適正值よりも 1 号分だけ高く設定した場合を表している。また、「適 1」は適正值の実験の 1 回目、「適 2」はその 2 回目の実験を表している。なお、下線が引かれている数値は、同じ被験者に対して計 6 回行った実験の最初に行った計測データであることを示している。

表 3 脊柱起立筋の RMS 近似直線の傾き ($\times 10^{-7}$)

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H
低 1	-1.686	<u>-70.791</u>	0.729	-5.857	-0.787	-1.400	<u>-138.105</u>	<u>3.494</u>
低 2	-0.797	2.162	-0.547	-1.834	14.000	-0.381	-2.067	0.207
適 1	<u>1.125</u>	3.804	1.284	<u>-256.362</u>	-77.989	<u>-160.069</u>	-0.058	6.418
適 2	-1.618	-0.910	1.939	-7.185	-19.146	-5.032	-2.982	2.073
高 1	-0.967	-0.630	<u>15.388</u>	-5.443	<u>-114.762</u>	-1.189	0.726	-0.143
高 2	0.077	-0.492	2.224	-2.279	16.733	-1.440	-1.164	-0.561

表4 僧帽筋のRMS近似直線の傾き ($\times 10^{-7}$)

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H
低1	2.036	<u>1.572</u>	0.624	-1.471	0.690	-0.669	<u>1.393</u>	<u>-0.305</u>
低2	3.062	0.130	-2.580	-2.175	-0.140	0.171	0.807	0.931
適1	<u>4.542</u>	2.298	-0.284	<u>-8.632</u>	0.814	<u>5.589</u>	1.574	0.785
適2	3.179	-0.550	0.114	-0.286	2.422	1.869	0.637	-0.482
高1	1.202	0.168	<u>3.900</u>	1.235	<u>-2.933</u>	-1.189	2.499	-0.668
高2	0.662	1.821	0.907	-0.588	0.974	-0.391	-0.029	0.875

表5 RMS近似直線傾きの8名の平均値 ($\times 10^{-7}$)

	脊柱起立筋		僧帽筋	
低1	-26.800	低の平均値	0.484	低の平均値
低2	1.343	-12.729	0.026	0.255
適1	-60.231	適の平均値	0.836	適の平均値
適2	-4.108	-32.169	0.863	0.849
高1	-13.378	高の平均値	0.527	高の平均値
高2	1.637	-5.870	0.529	0.528

RMS近似直線の傾きが大きな負の値を示すことは、筋疲労が進んでいることを示しているが、表3と表4より、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合も特に大きな変化はみられない。すなわち、今回の書き写しの20分間の作業内容は、大学生において顕著な筋疲労を起こす負荷ではなかったといえる。ところで、同一の被験者が最初に行った計測データを表3と表4では数値に下線を付けて示しているが、この最初の計測データと他の5回のデータを比較してみると、最初のデータが特に大きな値であるか、または特に小さい値であることがわかる。このことは、最初の測定場面で被験者が初めて机・椅子に触れ、その高さに自分の身体を合わせようと意識し、計測部位の筋肉を頻繁に動かしながら疲れにくい姿勢を求めてことで、筋肉が頻繁に活動したものと考えられる。

また、表3と表4のデータをもとに、それぞれのRMS近似直線の傾きの平均を被験者8名について求めたものが表5である。この結果より、脊柱起立筋では、適正值よりも1号分高い机・椅子の場合にRMS近似直線の傾きが他の場合よりも小さくなり、疲労度が比較的に小さいことがわかった。また、僧帽筋では、いずれもほぼ同じ傾きを示し、顕著な差はみられなかった。さらに、同表の脊柱起立筋は、「低」、「適」および「高」のいずれの場合も、高さを変化させた時の1回目の値が大きな負の値を示し、2回目の値は正の値に転じる方向で値が大きくなっていることがわかった。このことも、高さを変化させた1回目は姿勢を調整するために脊柱起立筋を頻繁に使うことで疲労度が結果的に増し、2回目は脊柱起立筋の適応または慣れによって疲労度が軽減されたと考え

ることができる。

3. 3 RMS 平均値の分析

脊柱起立筋における机・椅子の高さごとの RMS 平均値を表 6 に示し、僧帽筋については表 7 に示す。ここでも、下線が引かれている数値は、同じ被験者に対して計 6 回行った実験の最初に行った計測データであることを示している。また、被験者 8 名の RMS 平均値の高さごとの平均値を表 8 に示す。

表 6 脊柱起立筋の RMS 平均値 (mV)

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H
低 1	200.0213	<u>200.0871</u>	200.0265	200.0789	200.0463	200.0478	<u>200.2745</u>	<u>200.0199</u>
低 2	200.0199	200.0211	200.0251	200.0667	200.0586	200.0488	200.0874	200.0273
適 1	<u>200.0189</u>	200.0195	200.0263	<u>200.3612</u>	200.2885	<u>200.3477</u>	200.0727	200.0271
適 2	200.0189	200.0205	200.0246	200.0971	200.0688	200.0653	200.0632	200.0295
高 1	200.0231	200.0221	<u>199.9973</u>	200.0807	<u>200.3102</u>	200.0476	200.0616	200.0291
高 2	200.0214	200.0207	200.0244	200.0721	200.1526	200.0459	200.0607	200.0303

表 7 僧帽筋の RMS 平均値 (mV)

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H
低 1	199.8133	<u>199.8231</u>	199.8128	199.8156	199.8208	199.8178	<u>199.8192</u>	<u>199.8202</u>
低 2	199.8152	199.8226	199.8126	199.8167	199.8177	199.8192	199.8198	199.8195
適 1	<u>199.8020</u>	199.8180	199.8141	<u>199.8229</u>	199.8206	<u>199.8084</u>	199.8197	199.8213
適 2	199.8101	199.8206	199.8112	199.8163	199.8203	199.8165	199.8186	199.8191
高 1	199.8133	199.8184	<u>199.8043</u>	199.8159	<u>199.8179</u>	199.8192	199.8196	199.8193
高 2	199.8142	199.8158	199.8107	199.8198	199.8177	199.8187	199.8212	199.8212

表 8 RMS 平均値の 8 名の平均値 (mV)

	脊柱起立筋	僧帽筋	
低 1	200.0753	199.8178	脊柱起立筋 :
低 2	200.0444	199.8179	最大値 200.3612
適 1	200.1452	199.8159	最小値 199.9973
適 2	200.0485	199.8166	僧帽筋 :
高 1	200.0715	199.8160	最大値 199.8231
高 2	200.0535	199.8174	最小値 199.8020

表6と表7より、RMS平均値に関しても、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合も特に大きな変化はみられない。また、前述と同様に、同一の被験者が最初に行った計測データは、他の5回のデータと比較すると高い値であるか、または低い値であって、他のデータとは異なった特徴を示している。このことも、最初の測定場面で被験者が机・椅子の高さに自分の身体を合わせようと意識し、計測部位の筋肉を頻繁に動かしたために、その差が生じたものと推測される。表8より、脊柱起立筋は、「低」、「適」および「高」のいずれの場合も、高さを変化させた時の1回目の平均値が大きな値を示し、2回目の値は小さくなることがわかった。このことも、筋活動が次第に適応または慣れによって、筋活動度が低下したためと考えられる。また、僧帽筋の場合、高さの違いによる平均値の差は認められなかった。なお、脊柱起立筋の平均値の最小値は、僧帽筋の平均値の最大値を上回っており、このことは、着座による書き写し作業で、脊柱起立筋の方が僧帽筋よりも筋活動度が高かったことを示している。

脊柱起立筋と僧帽筋のRMS平均値のt検定を行った結果の一例を表9に示す。同じ机・椅子の高さにおいて、脊柱起立筋の方が僧帽筋よりもRMS平均値が高いことを示し、いずれの高さの場合も $P < 0.1\%$ で有意差が認められ、この2つの筋肉部位の筋活動度の違いが確認された。また、机・椅子の高さの違いによる脊柱起立筋と僧帽筋のRMS平均値のt検定の結果を、表10と表11にそれぞれ示す。これらの表より、「低」、「適」および「高」の高さの違いによって、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合もRMS平均値に有意差は認められなかった。

表9 脊柱起立筋と僧帽筋のRMS平均値のt検定

脊柱起立筋(低1)と 僧帽筋(低1)		脊柱起立筋(適1)と 僧帽筋(適1)		脊柱起立筋(高1)と 僧帽筋(高1)	
t 値	8.729		5.965		7.340
P 値(両側検定)	0.000052		0.000561		0.000157

表10 机・椅子の高さの違いによる脊柱起立筋のRMS平均値のt検定

	低と適	適と高	低と高
t 値	-1.139	1.334	-0.114
P 値(両側検定)	0.2724	0.2020	0.9104

表11 机・椅子の高さの違いによる僧帽筋のRMS平均値のt検定

	低と適	適と高	低と高
t 値	1.472	-0.337	1.488
P 値(両側検定)	0.1618	0.7409	0.1576

3. 4 荷重分布重心の移動

圧力分布測定システムの荷重中心の変動状況がパソコン画面上で軌跡として表示されるため、その軌跡を身体の前後方向と左右方向の2方向で計測して記録した。机・椅子の高さを変化させることで、椅子の座面における荷重分布の重心位置がどのように変化したのかを示したものが図8である。なお、被験者の突発的な動きを示した部分については分析対象から外し、被験者8名の前後・左右方向の値を平均した数値をここでは示している。適正値の机・椅子を使用した場合、前後・左右方向ともに最も重心の移動距離が小さく、身体への負担が最も少ない状況であったと予想される。一方、適正値よりも1号分だけ低く設定した机・椅子では、前後・左右方向とも移動距離が最も大きい値を示した。これは、号数が小さくなることで机と椅子の間の空間が狭くなり、それを窮屈に感じて身体を動かすことでの疲れの調整を図っていたと考えられる。同時に、高さが低くなることで前傾姿勢になるため、身体への負担が大きくなつたと予想される。また、高さの3段階すべてにおいて、左右方向への動きよりも、前後方向への動きの方が大きい値を示した。これは、比較的自由度の高い上半身の動きが大きく影響していると考えられる。机・椅子の高さの違いによる荷重分布重心の移動距離についてt検定を行い、その結果を表12に示す。机・椅子の高さの違いについては、特に有意差は認められなかつた。

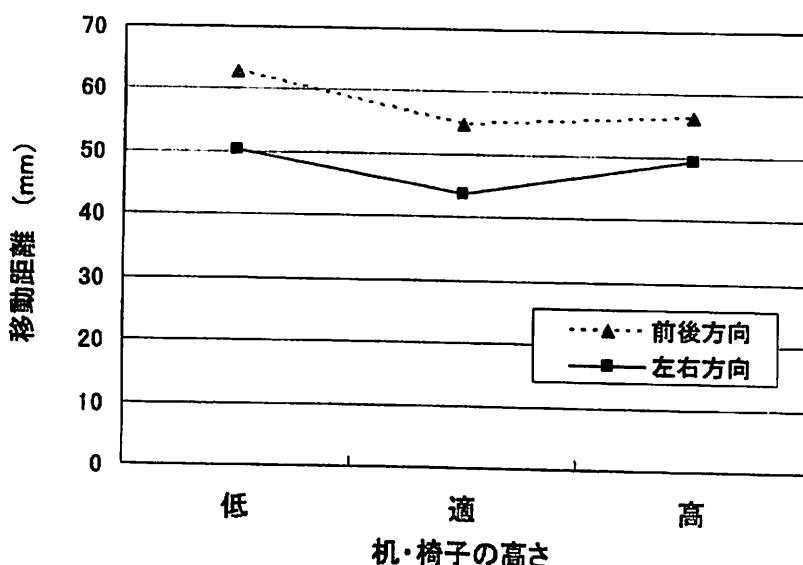


図8 机・椅子の高さの違いによる荷重分布重心の移動距離の変化

表12 机・椅子の高さの違いによる荷重分布重心の移動距離のt検定

机・椅子の高さ	移動方向	t値	P値(両側)
低と適	左右	1.25	0.23
	前後	1.74	0.10
適と高	左右	-1.35	0.19
	前後	-0.29	0.78
高と低	左右	-0.13	0.90
	前後	-0.90	0.38

3.5 荷重値の変化

着座時の体圧分布をさらに詳細に分析するために、図9に示すように体圧分布の2次元等圧線表示図をA～Dの4つの均等なタイルに分割し、それぞれのタイルに加わっている荷重値を分析した。なお、この図においては、A・B側が被験者の臀部であり、左側が背中側となり、Cが左脚側、Dが右脚側となっている。着座の際に、最も荷重が集中して加わるのは、左右の座骨周辺であり、図ではAとBにその圧力の頂点が表れている。また、CとDでは、大腿部の裏と座面の縁の接触部分にも高い圧力が表れている。

センサのエリア上にかかる総荷重を、A～Dの4つのタイル別に表示させ、それぞれのタイルに加わる荷重割合を求めたものが図10であり、被験者8名の値を平均して示している。しかし、被験者A、C、Gの3名の値が特異であったため、その3名の値を除いて被験者5名の値を平均して改めて示したものが図11である。

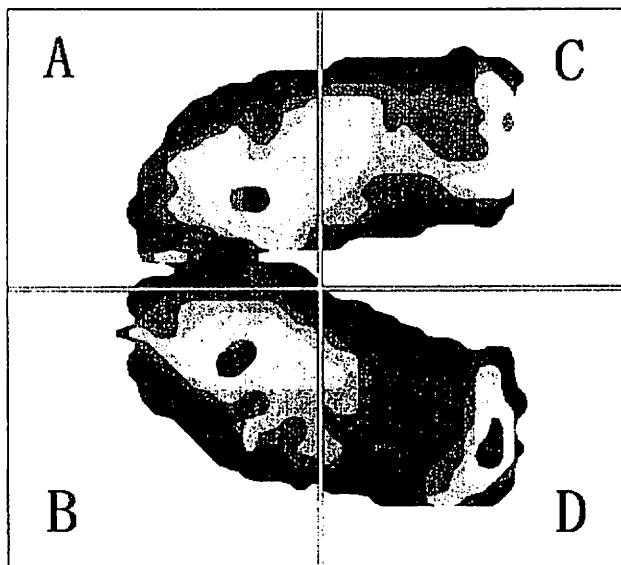


図9 4つのタイルに分割した体圧分布図（被験者D）

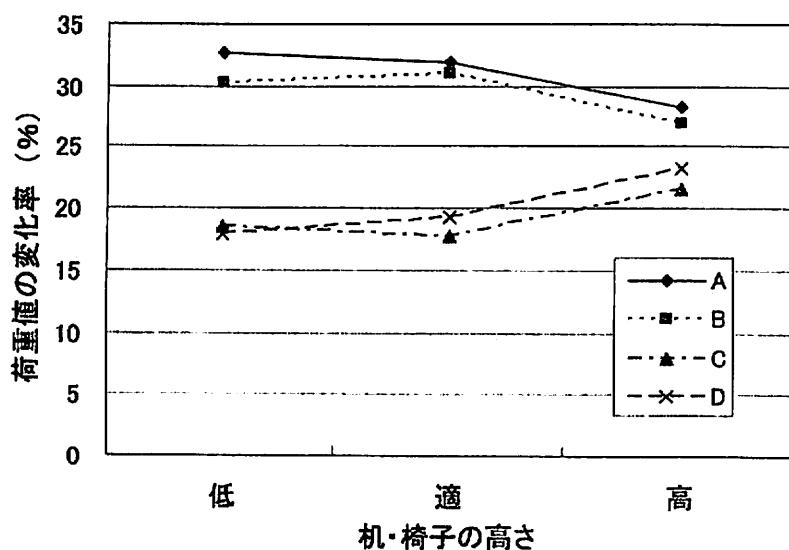


図10 4つのタイル別に示した荷重値の変化（被験者8名）

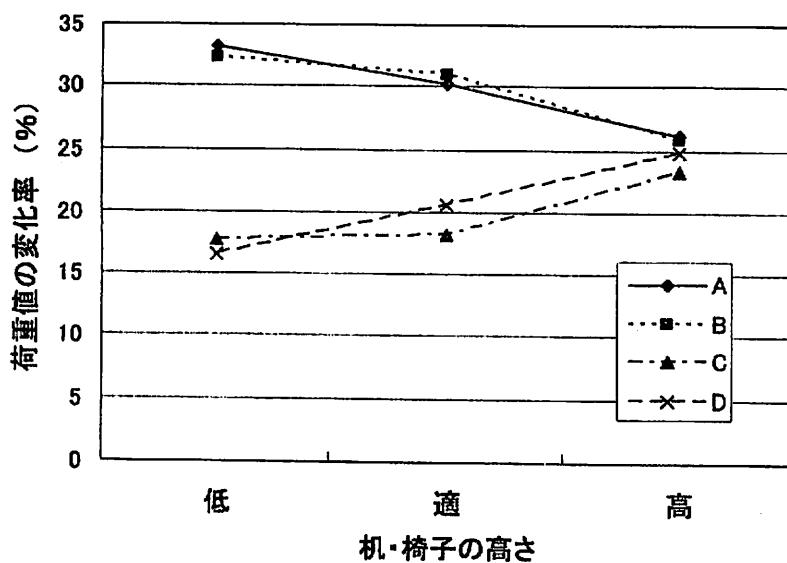


図11 4つのタイル別に示した荷重値の変化（被験者5名）

図10と図11のいずれの場合も、机・椅子の高さが高くなるにつれ、タイルAとタイルBにかかる荷重は減少し、タイルCとタイルDにかかる荷重が増加していることがわかる。これは、椅子の高さが高くなるにつれて、床と座面との距離が長くなり、膝の裏側の角度が次第に大きく広がり、大腿部の裏側に荷重が加わっていくためだと考えられる。また、机・椅子の高さが高くなることに伴い、荷重が集中していたタイルAとB

の荷重値が、タイルCとDに移行していくことで、座面の圧力が平滑化していき、座り心地をよくする要因になっていると推測できる。このことをわかりやすく図示するために、机・椅子の高さが1号分低い場合、適正值の場合、1号分高い場合の3段階の体圧分布状態を3次元等圧線でそれぞれ図示したものが図12～図14である。机・椅子が高くなるにつれて、大腿部の裏側が椅子の前面の縁に当たり、その部分の荷重値が高くなっていることがわかる。このように、1号分低い机・椅子の使用時に座骨結節点を中心にして加わっていた荷重が、机・椅子の高さが高くなるにつれて、大腿部の裏側でも荷重がかかるようになり、荷重が分散されていくことがわかった。また、3次元等圧線で示される荷重値の勾配が、机・椅子が高くなっていくことで次第に緩やかになっていることも確認できた。

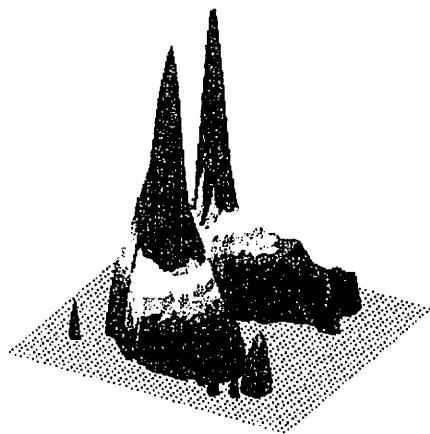


図12 1号分低い机・椅子使用時の
体圧分布状態（被験者D）

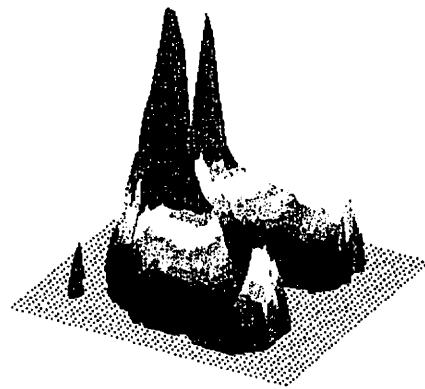


図13 適正值の机・椅子使用時の
体圧分布状態（被験者D）

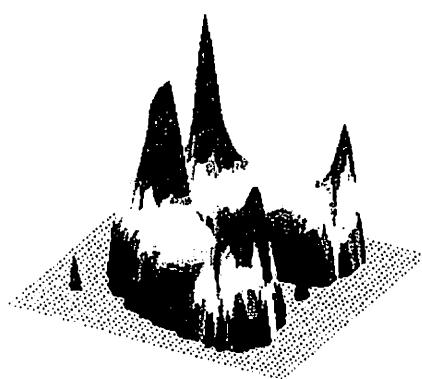


図14 1号分高い机・椅子使用時の
体圧分布状態（被験者D）

表13 机・椅子の高さの違いによる荷重値のt検定（被験者5名）

机・椅子の高さ	タイル	t値	P値(両側)
低と適	A	2.25	0.0513
	B	1.06	0.3153
	C	-0.22	0.8303
	D	-3.65	0.0053
適と高	A	4.94	0.0008
	B	4.67	0.0012
	C	-6.85	0.0001
	D	-4.50	0.0015
高と低	A	-5.09	0.0007
	B	-4.31	0.0020
	C	2.85	0.0191
	D	8.20	0.0000

机・椅子の高さの違いによる4つのタイル別の荷重値のt検定結果を表13に示す。タイルAでは、適と高の間に、また、高と低の間に、 $P < 0.1\%$ で有意差が認められた。タイルBでは、適と高の間に、また、高と低の間に、 $P < 1\%$ で有意差が認められた。タイルCでは、適と高の間に $P < 0.1\%$ で、また、高と低の間に $P < 5\%$ で有意差が認められた。タイルDでは、適と高の間に $P < 1\%$ で、また、高と低の間に $P < 0.1\%$ で有意差が認められた。特に、適正值の高さと1号分高い高さの机・椅子の間で、いずれのタイルにおいても荷重値の高い有意差が認められた。このように、机・椅子の高さが高くなるにつれてタイルAとBでは荷重値が減少し、タイルCとDでは荷重値が増加しており、机・椅子の高さの違いが荷重値に大きな影響を与えていたことがわかった。

3. 6 ピーク荷重値および接触圧力の変化

タイルA～Dの各エリア内で最大の荷重値であるピーク荷重値の変化を図15に示す。また、各エリア内の荷重値を接触面積で割った値が接触圧力であり、その変化を図16に示す。さらに、各タイル内で最大の荷重値がかかっている部分の圧力値である接触ピーク圧力の変化を図17に示す。これら3つのグラフの値は被験者8名の平均値である。図15～図17は、前述の図10および図11とほぼ同じ傾向の結果を示しており、机・椅子の高さが高くなるに従って、タイルAとBの値が減少し、タイルCとDの値が増加している。これは、前述のように、1号分低い机・椅子の使用時に座骨結節点を中心にして加わっていた荷重が、机・椅子の高さが高くなるにつれて、大腿部の裏側でも荷重がかかるようになり、荷重が分散されるためだと考えられる。

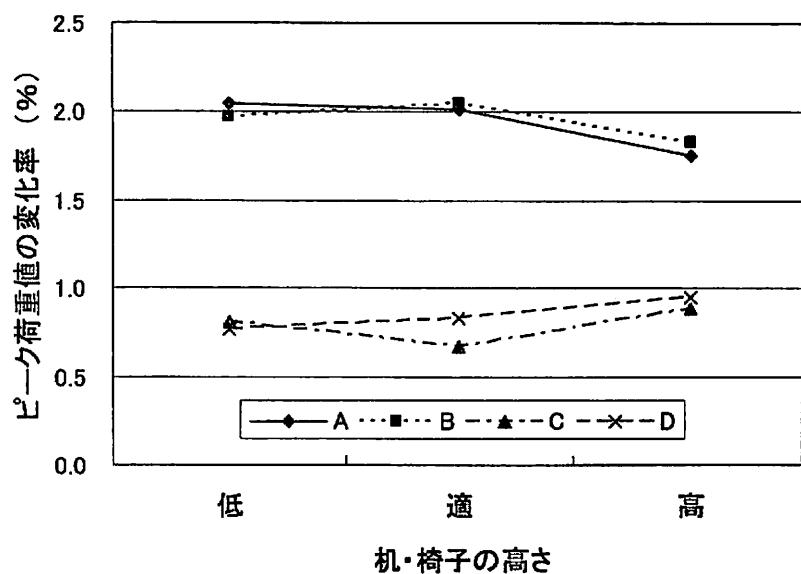


図15 机・椅子の高さの違いによるピーク荷重値の変化

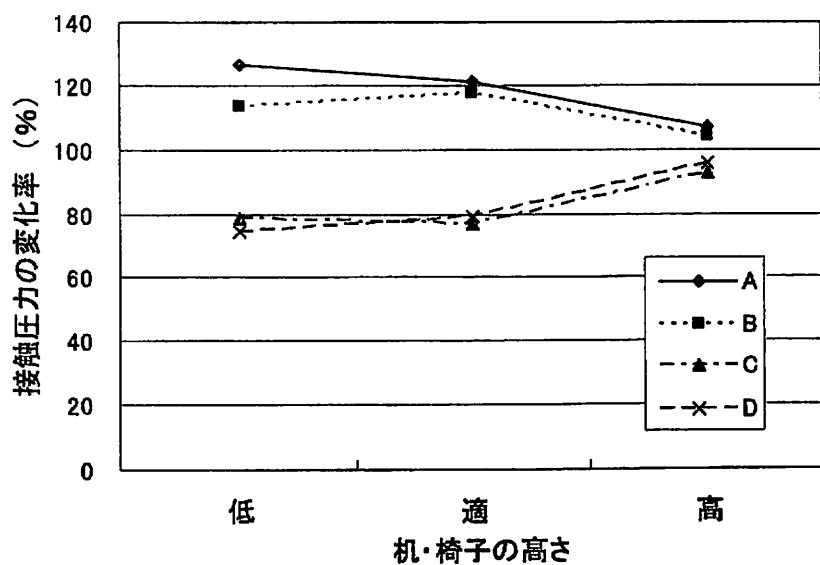


図16 机・椅子の高さの違いによる接触圧力の変化

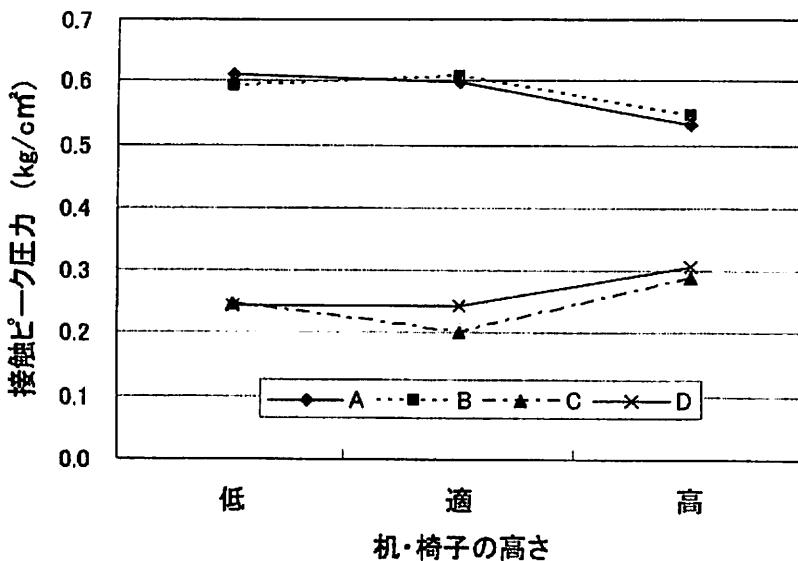


図17 机・椅子の高さの違いによる接触ピーク圧力の変化

3.7 アンケートによる意識調査

アンケートの内容は、机・椅子のそれぞれについて、高さの感じ方と主観的疲労度、姿勢や背筋の変化をSD法による形容語の対の5段階尺度で答えてもらい、被験者8名のアンケート結果を集計して平均を求めた。

机・椅子の高さを変化させることで、机と椅子のそれぞれの高さの感じ方がどのように変化するのかを示したのが図18である。適正值の高さの机・椅子を使用したときに、ちょうど良い高さだと回答する人が多かった。また、1号分高い高さを使用した場合に、机の高さは椅子の高さに比べて高いと感じる傾向を示したが、これは、椅子が1号分高くなると40 mm 高くなるのに対し、机は1号分高くなると60 mm 高くなるため、その20 mm の差を大きく感じたものと考えられる。

机・椅子の高さを変化させることで、主観的疲労度がどのように変化するのかを示したのが図19である。この場合、適正值の机・椅子を使用したときが最も疲労度が低く、1号分低い高さの時に疲れが比較的多かったことがわかる。

机の高さの違いによる高さの感じ方と主観的疲労度のt検定を行った結果を表14に示す。机の高さの感じ方のt検定では、どの高さの間においてもP<0.1%の有意差が認められた。また、主観的疲労度のt検定では、高さの違いによる有意差は特にみられなかった。

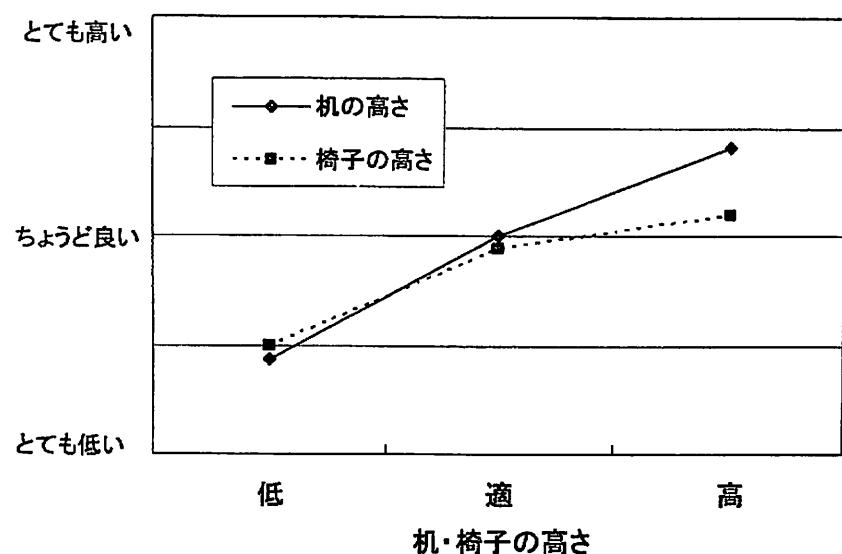


図 18 机・椅子の高さの違いによる高さの感じ方の変化

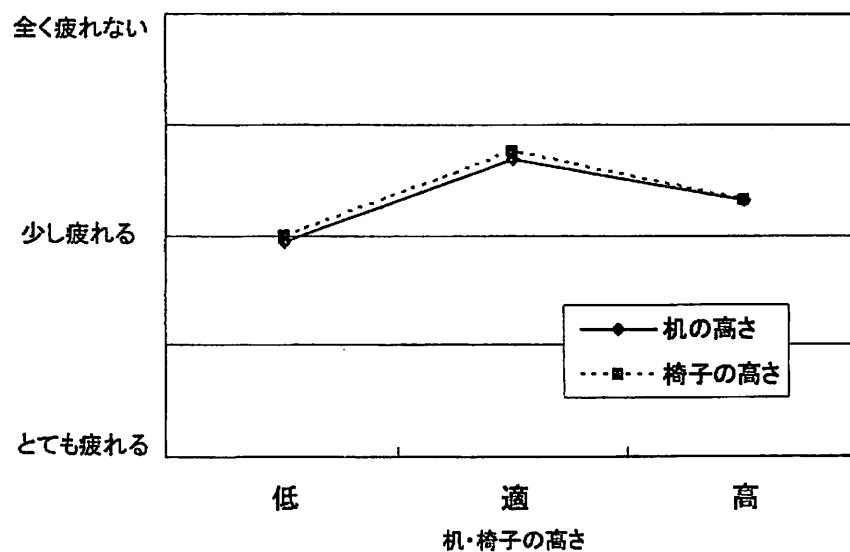


図 19 机・椅子の高さの違いによる主観的疲労度の変化

表14 机の高さの違いによる高さの感じ方および主観的疲労度のt検定

高さの感じ方	低と適	低と高	適と高
t 値	-5.463	-8.793	-6.177
P 値(両側検定)	0.000943	0.000496	0.000455
主観的疲労度	低と適	低と高	適と高
t 値	-1.474	-0.704	1.271
P 値(両側検定)	0.183999	0.503986	0.244341

表15 椅子の高さの違いによる高さの感じ方および主観的疲労度のt検定

高さの感じ方	低と適	低と高	適と高
t 値	-7.000	-3.211	-0.882
P 値(両側検定)	0.000212	0.014842	0.407084
主観的疲労度	低と適	低と高	適と高
t 値	-1.587	-0.767	1.210
P 値(両側検定)	0.156433	0.467976	0.265398

椅子の高さの違いによる高さの感じ方と主観的疲労度のt検定を行った結果を表15に示す。椅子の高さの感じ方のt検定では、低い椅子と適正値の椅子でP<0.1%の有意差が認められ、また、低い椅子と高い椅子でP<5%の有意差が認められた。主観的疲労度のt検定では、高さの違いによる有意差は特にみられなかった。この結果を表14と比較すると、被験者は椅子よりも机の方が、高さの違いをより意識しやすいことが予想される。

机・椅子の高さを変化させることで、姿勢と背筋の状態がどのように変化するのかを示したものが図20である。低い高さの机・椅子を使用した場合に、比較的に姿勢が悪くなり、背筋も曲がるという意識の傾向を示すことがわかった。また、机・椅子の高さの違いによる着座時の姿勢と背筋の伸びについてt検定を行ったが、その結果を表16に示す。姿勢および背筋の状態について、机・椅子の高さの違いによる有意差は特にみられなかった。

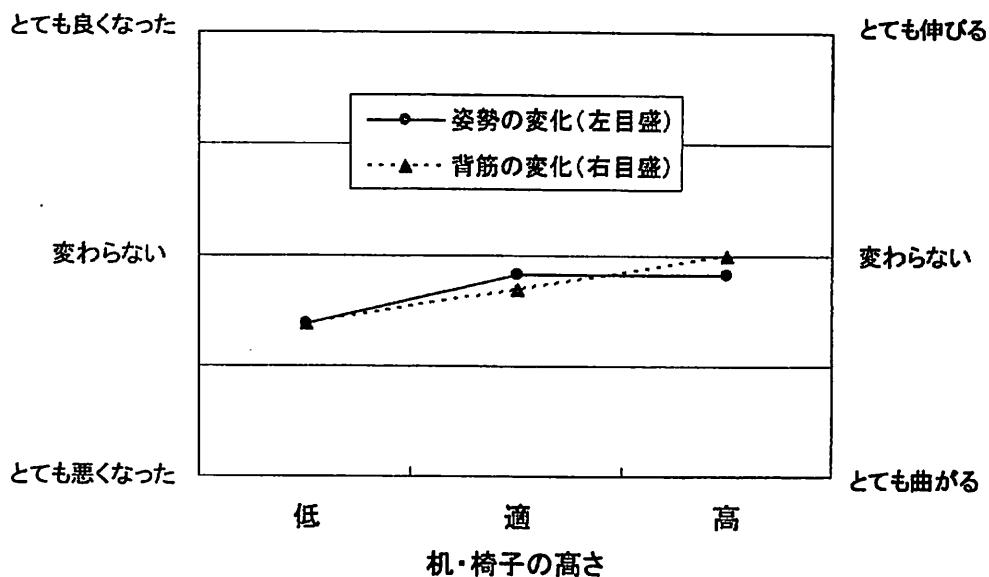


図20 机・椅子の高さの違いによる姿勢と背筋の変化

表16 机・椅子の高さの違いによる着座時の姿勢および背筋の伸びのt検定

着座時の姿勢	低と適	低と高	適と高
t 値	-1.000	-0.687	0.000
P 値(両側検定)	0.350617	0.514263	1.000000
背筋の伸び	低と適	低と高	適と高
t 値	-0.676	-0.978	-0.741
P 値(両側検定)	0.520767	0.360703	0.482994

机・椅子の高さを変化させることで、疲労部位がどのように変化するのかを図21に示す。このグラフは、被験者から疲労を感じる身体部位を3段階の疲労度で回答してもらったものであり、それを1～3ポイントでカウントして合計したものである。また、疲労部位が多数の場所になったため、右肩、左肩、首の後ろ、背筋、腰、臀部、脚、手・腕の8箇所に分類して集計を行った。この結果より、腰と右肩に疲労を多く回答していることがわかる。また、腰に関しては、1号分低い高さの机・椅子を使用したときに最も疲労度が高く、1号分高い高さが比較的低いことがわかる。これは、机・椅子が低くなるにつれて、上体が前傾姿勢になるため、腰の疲労度が高くなるものと予想される。また、右肩に関しては、被験者全員が右利きで右手による書き写し作業であったので、書く方の肩に負担がかかったため、疲労度が高くなつたと考えられる。

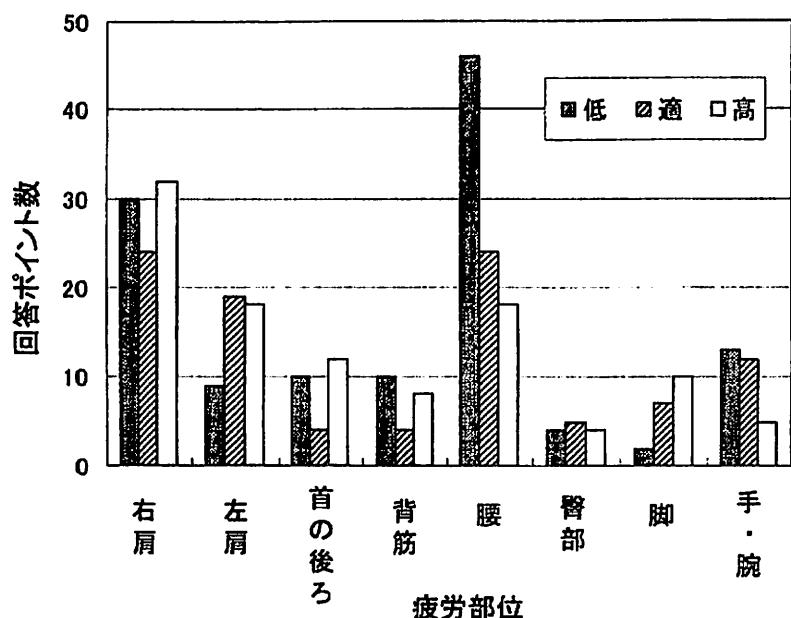


図21 机・椅子の高さの違いによる身体の疲労部位の変化

4. 要約

机・椅子の高さの違いによって生じる影響を検討するために、大学生を対象として、机と椅子の高さを段階的に変化させて実験を行った。被験者の各筋肉部位の筋電図(EMG)を測定し、同時に椅子の座面にかかる体圧分布の計測を行い、また、アンケートによる意識調査を実施した。得られた結果は以下の通りである。

(1) RMS 近似直線の傾きに関しては、脊柱起立筋では、適正値よりも1号分高い机・椅子の場合に他の場合よりも小さくなり、疲労度が比較的に小さいことがわかった。また、僧帽筋では、いずれもほぼ同じ傾きを示し、顕著な差はみられなかった。

(2) RMS 平均値に関しては、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合も特に大きな変化はみられなかつたが、脊柱起立筋の平均値の最小値は、僧帽筋の平均値の最大値を上回っており、着座による書き写し作業で、脊柱起立筋の方が僧帽筋よりも筋活動度が高かつたことを示した。

(3) 書き写しの20分間の作業内容は、大学生の脊柱起立筋と僧帽筋において顕著な筋疲労を起こす負荷ではなかつた。

(4) 同一被験者の6回の測定実験のうち、最初の測定場面では、被験者は初めて机・椅子に触れ、その高さに自分の身体を合わせようと意識し、計測部位の筋肉を頻繁に動

かしながら疲れにくい姿勢を求めてることで、筋肉が頻繁に活動する傾向がみられた。特に脊柱起立筋では、3段階の高さのいずれの場合でも、RMS近似直線は1回目の値は同じ高さの2回目よりも負の大きな値を示した。

(5) 荷重分布重心の移動距離に関しては、適正值の高さの机・椅子を使用した場合に前後・左右方向ともに最も重心の移動距離が小さく、身体への負担が最も少ない状況であった。また、高さの3段階すべてにおいて、左右方向への動きよりも、前後方向への動きの方が大きい値を示した。

(6) 体圧分布の荷重値の変化から、1号分低い机・椅子の使用時に座骨結節点を中心にして加わっていた荷重が、机・椅子の高さが高くなるにつれて、大腿部の裏側でも荷重がかかるようになり、荷重が分散されていく。

(7) アンケートの意識調査より、高さの感じ方については、適正值の高さの机・椅子を使用したときに、ちょうど良い高さだと回答する人が多かった。また、主観的疲労度については、適正值の机・椅子を使用したときが最も疲労度が低く、1号分低い高さの時に疲れを感じる被験者が比較的多い傾向を示した。さらに、疲労部位の回答では、3段階のすべての高さで右肩に、また、1号分低い高さのときに腰に疲労を感じる被験者多かった。

III. 中学生のEMG計測、体圧分布計測および意識調査による学校用家具の検討

1. はじめに

机・椅子の高さの違いによって生じる影響を検討するために、大学生に引き続き、中学生を対象として、机と椅子の高さを段階的に変化させて同様の実験を行った。被験者の各筋肉部位の筋電図(EMG)を測定し、同時に椅子の座面にかかる体圧分布の計測を行い、また、アンケートによる意識調査を実施した。

2. 計測方法およびアンケート調査方法

2. 1 被験者

調査対象者は、表17に示すように、琉球大学附属中学校1年生の生徒10名（男性5名、女性5名）である。被験者の身長は142.0～171.0cm（平均身長は155.1cm）、体重は34～61kg（平均体重は46kg）であった。被験者の選出は、このクラスの身長分布を予め調査し、男女それぞれ身長の最大と最小の人を各2人選び、その分布範囲を身長順で等間隔になるように各3名選んだ。

実験において号数の変化は計3回行ったが、その順番による影響が出ないように、被験者毎に計測する号数の順序を無作為に変えた。なお、大学生の実験と同様に、前述の表2で示したJIS規格（1999年）による机・椅子の適正号数に基づき、被験者の身長に一番近い標準身長をもとに、適正とされる机・椅子の号数を決定した。

表17 被験者の属性

被験者	性別	身長(cm)	体重(kg)	適正号数(号)	号数の変化
A	男	148.6	42	4	5→4→3
B	男	155.3	43	4	4→5→3
C	男	171.0	61	5	4→5→6
D	男	163.0	52	5	6→4→5
E	男	155.2	44	4	4→3→5
F	女	149.1	37	4	3→5→4
G	女	142.0	34	3	4→2→3
H	女	159.9	48	5	5→6→4
I	女	154.9	57	4	4→3→5
J	女	151.5	49	4	5→4→3

2. 2 使用した机・椅子

使用した机・椅子は、ヒノキクラフト社製のスクールデスク（型式 K-KD-GAD）とスクールチェア（型式 K-KD-GAC）であり、無垢のヒノキの集成材で製作されたノックダウン組立式のものである。前述の図1～図2に示した学童机セットとほぼ同寸法の同型であった。各部材の接合部はステンレス製ボルトを使用し、集成材の表面は自然型の環境型ナチュラルオイル（主原料：亜麻仁、大豆油、ヒマシ油、ヒマワリ油）を使用していた。また、机・椅子は、いずれも学習者の身体の成長に合わせて高さの調節が可能な可動式であり、机では1990年のJIS規格の2～8号（1999年JIS規格の2～5号）、椅子では1990年のJIS規格の2～5号（1999年JIS規格の3～5号）の高さに調節が可能なものであった。なお、本研究では、1999年のJIS規格に則って号数を記載する。また、6号の高さの場合には、使用した机・椅子の高さ調整だけでは対応できないため、机の下に60mm、椅子の下に40mmの厚さの木製板の上に設置して使用した。机の天板の有効サイズは縦450×横650mm、椅子の座面の有効サイズは縦330×横360mm、椅子の背もたれの傾斜角100°であった。

なお、この木製机・椅子は、被験者の所属する1クラス38名全員に継続して使用してもらうため、計測実験に先立ち、この木製机・椅子を1クラスの生徒全員で組み立てもらった。生徒たちの組み立て時の様子を図22に、組み立て完成後にクラスに設置された様子を図23に示す。

2. 3 作業内容と計測時間

被験者に着座して行ってもらった作業内容は、学校での日常的な学習場面を想定して、原稿の書き写し作業とした。A4サイズの白紙にHB鉛筆を使用して、物語を書き写すという内容であった。なお、被験者本人の作業しやすい姿勢で行ってもらい、書き写すスピードも被験者に一任した。書き写し間違いの際には、消しゴムによる消去ではなく、斜線を引いて訂正してもらうことにした。



図22 机・椅子の組立時の様子



図23 クラスに設置された机・椅子

被験者の身長から求めた J I S 規格による適正な高さ、その適正值より 1 号分低い高さ、その適正值より 1 号分高い高さの 3 段階に机・椅子の高さを変化させ、計測を行った。同じ号数での実験手順は、15 分間の書き写し作業の後、約 10 分間休憩（同時にアンケート回答記入）をし、これを 1 セットとした。同一被験者は、机・椅子の高さを 3 段階に変えて、計 3 セットの計測を行った。

2. 4 表面筋電計による EMG の計測

EMG 計測で用いた表面筋電図は、ハードウェアが ProComp Infiniti (8 チャンネル、最大サンプルレート 2048 s/s)、ソフトウェアが BioGraph Infiniti であり、いずれも Thought Technology 社製のものであった。実験装置の概念図は前述の図 3 に示す。

長時間の座位姿勢による疲労予想部位として、右脊柱起立筋と右僧帽筋の 2 点を取り上げた¹³⁻¹⁵⁾。右脊柱起立筋と右僧帽筋にそれぞれ電極 (MyoScan EMG Sensor, 感度 0.1 μV, Thought Technology 社製) を貼り付け、EMG の波形を測定した。図 24～図 25 は測定中の様子であり、今回の EMG の計測はサンプルレート 32 s/s で行った。なお、今回の被験者 10 名の中で 1 名が左利きであったため、その被験者のみ測定箇所の脊柱起立筋と僧帽筋は左側を採用し、他の 9 名については右脊柱起立筋と右僧帽筋を採用した。また、男子生徒は自分のクラスで実験を行い、女子生徒は保健室で実験を行った。



図 24 測定中の様子（教室内）

図 25 測定中の様子（保健室内）

2. 5 体圧分布の計測

前述の図3のように、被験者が着座する椅子の座面に体圧分布測定システム（ニッタ株式会社製の ClinSeat）のセンサシートの裏面四隅を両面テープで固定して計測を行なった。このシートは圧力センサセルが縦横に配列され、そのセンサセルに加わる圧力を測定するものである。このセンサ厚は0.4 mm、分解能は10 mm、マトリックス数は44×48個、測定範囲は2~20 kPaであった。計測の前には感度を設定し、被験者の体重に基づきキャリブレーションを行なった。また、計測時間は15分間×3セット、計測間隔は2フレーム/秒とした。なお、体圧分布の分析は、附属ソフトウェア ClinSeat で行い、このソフトウェアによってセンサから収集された圧力分布データが表示され、同情報を時系列のデータとして記録することができる。

2. 6 アンケートによる意識調査

15分間の書き写し作業直後の休憩時間に、アンケートによる意識調査を行った。アンケートの内容は、机・椅子のそれぞれについて、高さの感じ方と主観的疲労度、姿勢や背筋の変化をSD法による形容語の対の5段階尺度で答えてもらった。また、疲れを感じた身体部位については、アンケートの身体図中に3段階の疲労度で図示して回答してもらった。

なお、実験は2006年12月11日から12月20日の期間に行った。

3. 結果と考察

3. 1 表面筋電計によるEMGの分析

本研究では、筋電図の評価方法としてRMS法（root mean square）を用いた。

EMG信号のRMS化とは、波形の交流実効値をとる考え方である。表面筋電図の振幅幅を変量とみなして、その標準偏差を計算するものであり、前述の式(1)に示す単位時間当たりの信号を自乗平均しその平方根を求める方法である¹⁶⁻¹⁷⁾。この操作は、ソフトウェア（BioGraph Infiniti）により行った。

書き写し作業の15分間の周波数を分析し近似直線を算出し、その傾きを比較することで筋疲労の評価を行った。傾きが大きく負の値を示すほど筋疲労が起こっているということが確認されている¹³⁾。図26に脊柱起立筋のRMS近似直線図の一例を示す。

3. 2 RMS近似直線の傾きの分析

机・椅子の高さを段階的に変化させた場合のRMS近似直線の傾きについて、脊柱起立筋については表18に、僧帽筋については表19にそれぞれ示す。表中の高さの「適」は被験者の身長から求めたJIS規格による適正値の机・椅子の高さを表し、「低」は適正値よりも1号分だけ低く設定した場合、「高」は適正値よりも1号分だけ高く設定

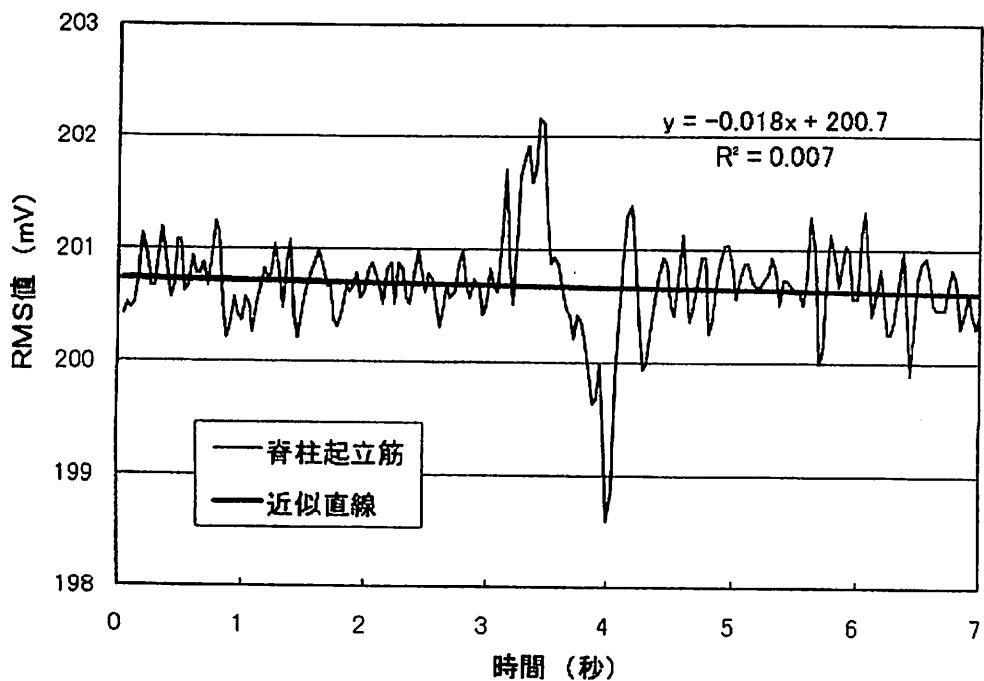


図26 脊柱起立筋のRMS近似直線図の一例

した場合を表している。なお、下線が引かれている数値は、同じ被験者に対して計3回行った実験の最初に行った計測データであることを示している。

RMS近似直線の傾きが大きな負の値を示すことは、筋疲労が進んでいることを示しているが、表18と表19より、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合も特に大きな変化はみられない。前述の大学生の測定結果と同様に、今回の書き写しの15分間の作業内容は、中学生において顕著な筋疲労を起こす負荷ではなかったといえる。

表18 脊柱起立筋のRMS近似直線の傾き ($\times 10^{-6}$)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
低	-5.881	2.600	<u>-266.931</u>	47.936	27.709	<u>-3.593</u>	-5.052	-1.361	-435.273	-10.229
適	-8.860	18.534	<u>-60.852</u>	32.884	<u>26.649</u>	8.104	-1.371	<u>-134.907</u>	<u>444.694</u>	-23.011
高	<u>25.227</u>	<u>4.499</u>	29.881	<u>136.786</u>	-7.700	6.442	<u>0.196</u>	-41.962	-181.354	<u>5.829</u>

表19 僧帽筋のRMS近似直線の傾き ($\times 10^{-6}$)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
低	20.276	-8.385	<u>-7.757</u>	7.589	-5.590	<u>9.095</u>	9.240	-6.590	0.332	2.648
適	-1.560	0.742	<u>-6.298</u>	-2.653	<u>3.743</u>	3.281	7.768	<u>-2.971</u>	<u>5.487</u>	-1.928
高	<u>2.606</u>	<u>0.168</u>	-2.911	<u>5.640</u>	2.988	-2.710	<u>15.448</u>	5.107	1.548	<u>5.094</u>

表20 机・椅子の高さの違いによる脊柱起立筋のRMS近似直線の傾きのt検定

	低と適	適と高	低と高
t 値	-1.046	0.479	-1.683
P 値 (両側)	0.323	0.644	0.127

表21 机・椅子の高さの違いによる僧帽筋のRMS近似直線の傾きのt検定

	低と適	適と高	低と高
t 値	0.503	1.647	0.408
P 値 (両側)	0.627	0.134	0.693

同一の被験者が最初に行った計測データを表18と表19では数値に下線を付けて示しているが、この最初の計測データと他の5回のデータを比較してみると、大学生の場合と同様に最初のデータが特に大きな値であるか、または特に小さい値であることがわかる。

脊柱起立筋と僧帽筋のRMS近似直線の傾きに机・椅子の高さの違いによる差があるかどうかをt検定で確認した結果を、表20と表21にそれぞれ示す。この結果、脊柱起立筋と僧帽筋のどちらにも特に大きな有意差はみられなかった。また、この結果について1元配置の分散分析でも検討してみたが、机・椅子の高さの違いによる大きな有意差はみられなかった。

3. 3 RMS平均値の分析

脊柱起立筋における机・椅子の高さごとのRMS平均値を表22に示し、僧帽筋については表23に示す。ここでも、下線が引かれている数値は、同じ被験者に対して計3回行った実験の最初に行った計測データであることを示している。

表22 脊柱起立筋のRMS平均値 (mV)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
低	200.047	200.057	<u>200.549</u>	200.086	200.024	<u>200.039</u>	200.055	200.060	200.758	200.069
適	200.043	200.055	200.174	200.087	<u>200.026</u>	200.047	200.054	<u>200.150</u>	<u>200.326</u>	200.086
高	<u>200.041</u>	<u>200.063</u>	200.093	<u>200.130</u>	200.031	200.047	<u>200.056</u>	200.077	200.354	<u>200.119</u>

表23 僧帽筋のRMS平均値 (mV)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
低	199.836	199.841	<u>199.860</u>	199.832	199.818	<u>199.832</u>	199.839	199.839	199.850	199.847
適	199.834	199.842	199.848	199.832	<u>199.818</u>	199.835	199.840	<u>199.838</u>	<u>199.842</u>	199.842
高	<u>199.834</u>	<u>199.840</u>	199.839	<u>199.834</u>	199.822	199.832	<u>199.838</u>	199.843	199.849	<u>199.846</u>

表24 机・椅子の高さの違いによる脊柱起立筋のRMS平均値のt検定

	低と適	適と高	低と高
t 値	1.229	-0.290	-1.224
P 値 (両側)	0.250	0.779	0.252

表25 机・椅子の高さの違いによる僧帽筋のRMS平均値のt検定

	低と適	適と高	低と高
t 値	1.552	0.414	-0.722
P 値 (両側)	0.155	0.689	0.489

表22と表23より、RMS平均値に関しても、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合も特に大きな変化はみられない。また、大学生の場合と同様に、脊柱起立筋の平均値の最小値は、僧帽筋の平均値の最大値を上回っており、このことは、着座による書き写し作業で、脊柱起立筋の方が僧帽筋よりも筋活動度が高かったことを示している。また、机・椅子の高さの違いによる脊柱起立筋と僧帽筋のRMS平均値のt検定の結果を、表24と表25にそれぞれ示す。これらの表より、「低」、「適」および「高」の高さの違いによって、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合もRMS平均値に有意差は認められなかった。同じRMS平均値について、1元配置の分散分析を行ったが、同様に大きな有意差はみられなかった。

3.4 荷重分布重心の移動

圧力分布測定システムの荷重中心の変動状況がパソコン画面上で軌跡として表示されるため、その軌跡を身体の前後方向と左右方向の2方向で計測して記録した。机・椅子の高さを変化させることで、椅子の座面における荷重分布の重心位置がどのように変化したのかを示したものが図27である。なお、被験者の突発的な動きを示した部分については分析対象から外し、被験者10名の前後・左右方向の値を平均した数値をここでは示している。高さの違いによる前後・左右の移動距離の差は特にみられなかった。また、その移動距離のt検定を行った結果を表26に示す。この結果からも、前後・左右方向のどちらにも高さの違いによる有意差がなかったことがわかる。また、高さの3段階すべてにおいて、左右方向への動きよりも、前後方向への動きの距離が大きい値を示し、大学生を対象にした実験と同様の結果であった。すなわち、この書き写し作業が比較的自由度の高い上半身の前後の動きを大きくさせたと考えることができる。

3.5 荷重値の変化

着座時の体圧分布をさらに詳細に分析するために、図28に示すように体圧分布の2次元等圧線表示図をA～Dの4つの均等なタイルに分割し、それぞれのタイルに加わっ

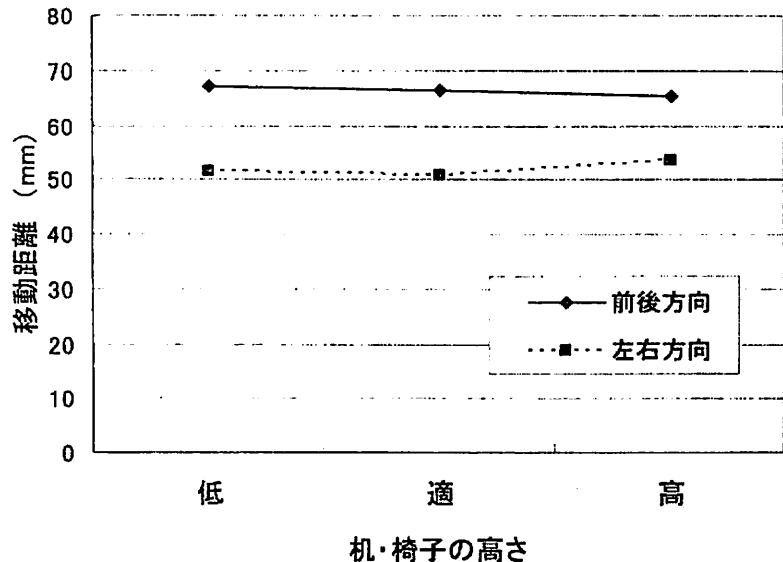


図 27 机・椅子の高さの違いによる荷重分布重心の移動距離の変化

表 26 机・椅子の高さの違いによる荷重分布重心の移動距離の t 検定

机・椅子の高さ	移動方向	t 値	P 値 (両側)
低と適	前後	-0.104	0.920
	左右	-0.180	0.861
適と高	前後	-0.144	0.888
	左右	0.529	0.609
低と高	前後	-0.196	0.849
	左右	0.439	0.671

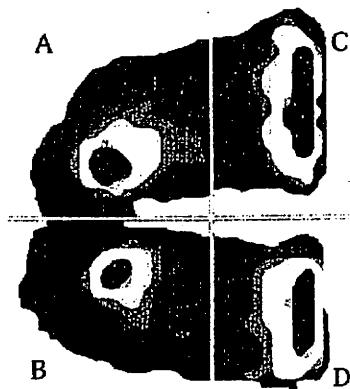


図 28 4つのタイルに分割した体圧分布図

ている荷重値を分析した。なお、この図においては、A・B側が被験者の臀部であり、左側が背中側となり、Cが左脚側、Dが右脚側となっている。着座の際に、最も荷重が集中して加わるのは、左右の座骨周辺であり、図ではAとBにその圧力の頂点が表れている。また、CとDでは、大腿部の裏と座面の縁の接触部分にも高い圧力が表れている。

センサのエリア上にかかる総荷重を、A～Dの4つのタイル別に表示させ、それぞれのタイルに加わる荷重割合を求めたものが図29であり、被験者10名の値を平均して示している。すなわち、タイルA～Dの数値を足し合わせると、100%の荷重値になる。いずれの机・椅子の高さにおいても、常に座骨結節点の周辺のタイルAとBが、大腿部の裏側のタイルCとDよりも高い荷重値を示していることがわかる。大学生を対象とした実験では、机・椅子の高さが高くなるに従って、タイルAとBにかかる荷重は減少し、タイルCとDにかかる荷重が増加し、荷重の分散が起こる傾向を示したが、中学生の場合はそのような傾向はみられなかった。また、タイルAとBを比較すると、左座骨結節点のあるタイルAの値がBの値よりも大きい値を示しているが、これは、右手での書き写し作業時に、右手の自由度を上げるために左手の肘で上体を支えようとして身体が少し左に傾くことにより、タイルAの荷重値が高くなるためと考えられる。特にその傾向が適正値の高さの時に現れていた。高さの違いによる荷重値のt検定の結果を表27に示す。この結果から、適正値の高さと1号分高い高さの机・椅子を使用した場合のタイルAにおいて、P<10%の有意差が認められ、タイルAの荷重値の変動に特徴があったことがわかる。

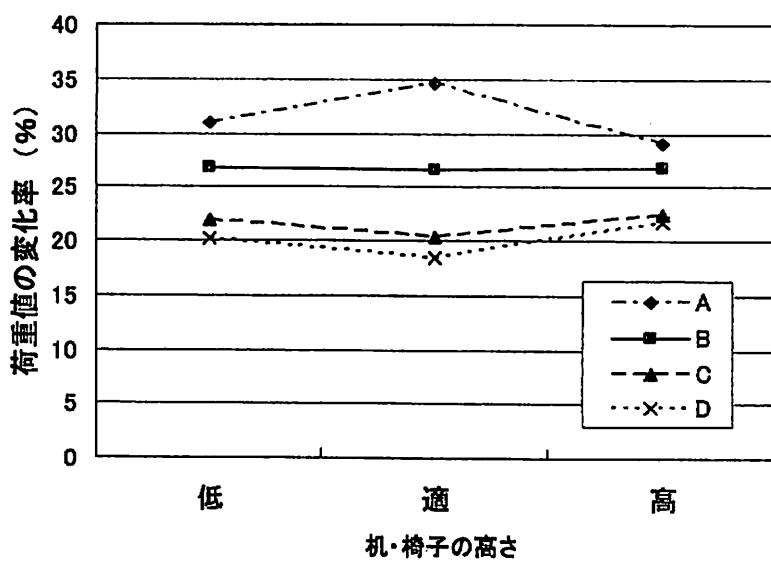


図29 4つのタイル別に示した荷重値の変化

表27 机・椅子の高さの違いによる荷重値のt検定

机・椅子の高さ	タイル	t 値	P 値 (両側)
低と適	A	-1.772	0.110
	B	0.053	0.959
	C	0.549	0.596
	D	1.023	0.333
適と高	A	-2.183	0.057
	B	0.065	0.949
	C	0.958	0.363
	D	1.300	0.226
高と低	A	-0.865	0.409
	B	0.011	0.991
	C	0.182	0.859
	D	0.758	0.468

3.6 ピーク荷重値および接触圧力の変化

タイルA～Dの各エリア内で最大の荷重値であるピーク荷重値の変化を図30に示す。タイルAは適正値の高さの時に高い値を示し、タイルCは1号分高い机・椅子を使用した時に高い値を示している。高さの違いによるピーク荷重値のt検定の結果、タイルAの低と適および適と高でP<10%の有意差があり、また、タイルCの適と高でP<10%の有意差が認められた。すなわち、適正値の高さから1号分高くなることで、左座

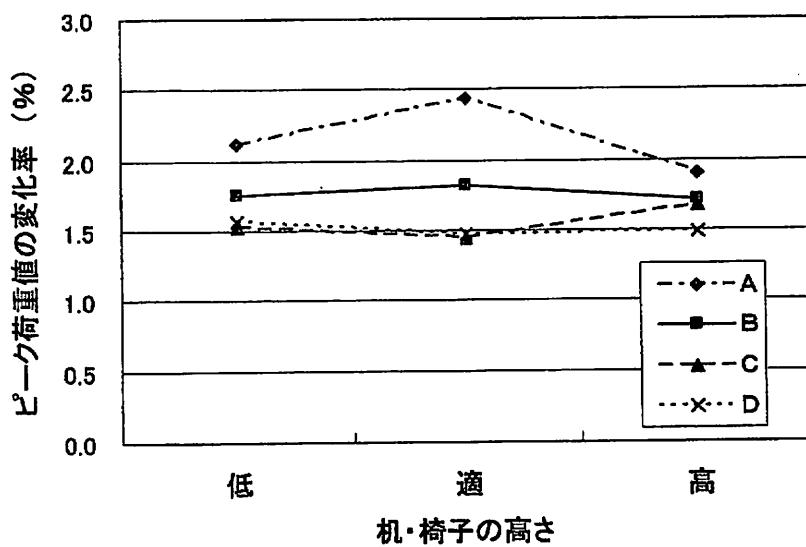


図30 机・椅子の高さの違いによるピーク荷重値の変化

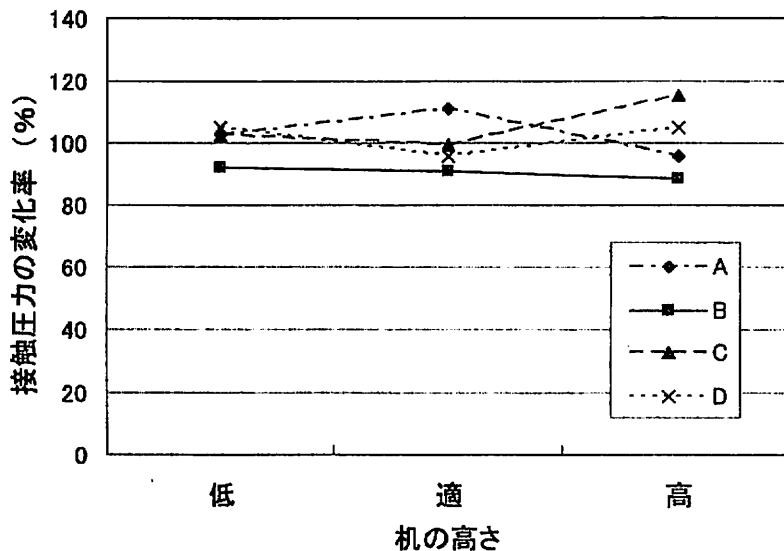


図3.1 机・椅子の高さの違いによる接触圧力の変化

骨結節点の圧力が抑えられ、左大腿部の裏側の圧力が増大したことを示している。

各エリア内の荷重値を接触面積で割った値が接触圧力であり、その変化を図3.1に示す。前述の図2.9と図3.0では、タイルAとBの値がタイルCとDの値よりも大きい傾向を示していたが、この接触圧力では4つの値がほぼ同じ値を示している。高さの違いによる接触圧力のt検定の結果、タイルAの適と高でP<5%の有意差があり、また、タイルCの適と高でP<10%の有意差が確認できた。前述のように、適正値の高さから1号分高さが高くなることで、左座骨結節点の圧力が、左大腿部の裏側へ移行したと考えられる。大学生の場合は図1.6で示したように、机・椅子の高さが高くなるに従って、タイルAとBの値が減少し、タイルCとDの値が増加していたが、中学生の場合は、同様の現象がタイルAとタイルCで顕著に起こったといえる。

3.7 アンケートによる意識調査

アンケートの内容は、机・椅子のそれぞれについて、高さの感じ方と主観的疲労度、姿勢や背筋の変化をSD法による形容語の対の5段階尺度で答えてもらい、被験者10名のアンケート結果を集計して平均を求めた。

机・椅子の高さを変化させることで、机と椅子のそれぞれの高さの感じ方がどのように変化するのかを示したのが図3.2である。1号分高い机・椅子の高さをちょうど良い感じる生徒が多く、適正値の高さでも低いと感じる生徒が多いことがわかった。この結果は、適正値の高さの机・椅子を使用したときに、ちょうど良い高さだと回答する人が多かった大学生の回答(図1.8)とは異なる結果となった。この高さの違いによる感

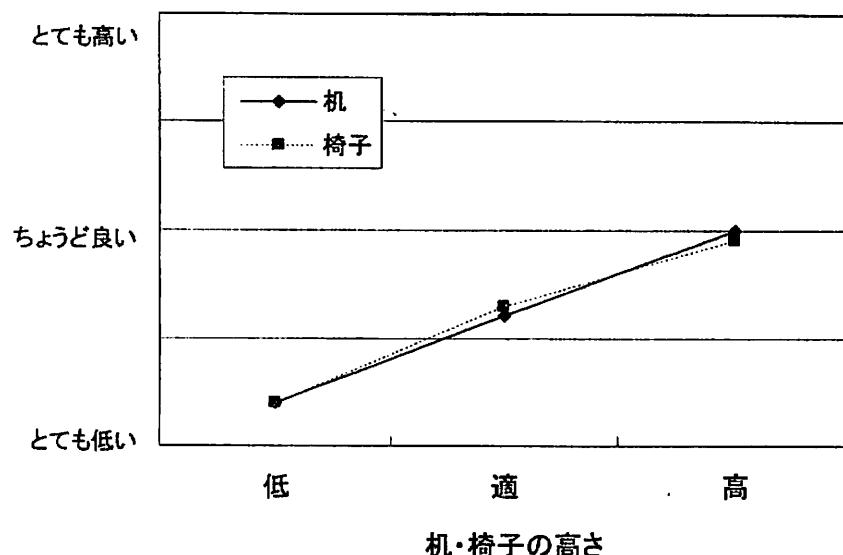


図3.2 机・椅子の高さの違いによる高さの感じ方の変化

表2.8 机・椅子の高さの違いによる感じ方の分散分析の結果

机・椅子の高さ	家具	有意確率
低と適	机	0.020
	椅子	0.014
適と高	机	0.020
	椅子	0.146
低と高	机	0.000
	椅子	0.000

じ方について、1元配置の分散分析を行った結果について表2.8に示す。机については、低と適、適と高で $P < 5\%$ の有意差があり、低と高では $P < 0.1\%$ の有意差が認められた。また、椅子については、低と適で $P < 5\%$ の有意差があり、低と高では $P < 0.1\%$ の有意差が認められた。

机・椅子の高さを変化させることで、主観的疲労度がどのように変化するのかを示したのが図3.3である。1号分高い机・椅子で最も疲労度が低く、1号分低い高さの時に疲労度が多かったことがわかる。この結果も、適正值の高さが最も疲労度が低いと回答した大学生の回答（図1.9）とは異なる結果となった。この高さの違いによる主観的疲労度について、1元配置の分散分析を行った結果を表2.9に示す。机については、低と高で $P < 1\%$ の有意差があり、椅子については、低と高で $P < 5\%$ の有意差が認められた。

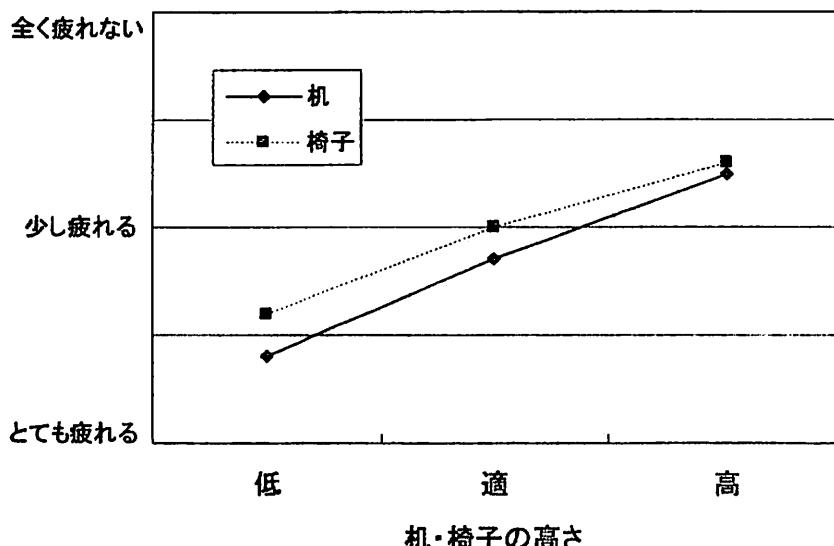


図3-3 机・椅子の高さの違いによる主観的疲労度の変化

表2-9 机・椅子の高さの違いによる主観的疲労度の分散分析の結果

机・椅子の高さ	家具	有意確率
低と適	机	0.128
	椅子	0.304
適と高	机	0.209
	椅子	0.642
低と高	机	0.001
	椅子	0.019

机・椅子の高さを変化させることで、疲労部位がどのように変化するのかを図3-4に示す。このグラフは、被験者から疲労を感じる身体部位を3段階の疲労度で回答してもらったものであり、それを1~3ポイントでカウントして合計したものである。また、疲労部位が多数の場所になったため、目、頭、首、手・腕、右肩、左肩、背中、腰、臀部、脚の10箇所に分類して集計を行った。この結果より、右肩と手・腕に疲労を多く回答していることがわかる。これは、座位姿勢による疲労というよりも、書き写し作業による直接的な疲労と考えられる。また、この結果では右肩に疲労を訴える生徒が多くいたが、前述の僧帽筋のRMS近似直線の傾き（表1-9）からは強い疲労を示す結果は得られなかったことから、生徒が感じている右肩の疲労は僧帽筋以外の別の筋肉の疲労によるものと考えられる。また、前述の大学生を対象にした実験結果（図2-1）と比較すると、大学生では1号分低い高さで腰の疲労度が高かったのに対し、中学生では腰の

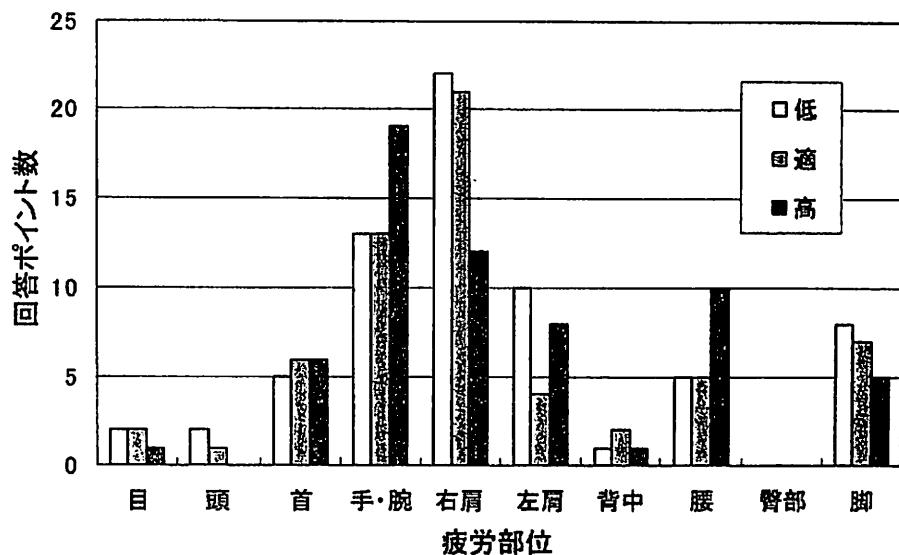


図 3.4 机・椅子の高さの違いによる身体の疲労部位の変化

疲労度が比較的低いことが特徴となっている。また、大学生では手・腕の疲労度が比較的に低いのに対し、中学生ではそれが高い疲労度を示していることも特徴である。

4. 要約

机・椅子の高さの違いによって生じる影響を検討するために、中学生を対象として、机と椅子の高さを段階的に変化させて実験を行った。被験者の各筋肉部位の筋電図（EMG）を測定し、同時に椅子の座面にかかる体圧分布の計測を行い、また、アンケートによる意識調査を実施した。得られた結果は以下の通りである。

(1) RMS 近似直線の傾きが大きな負の値を示すことは、筋疲労が進んでいることを示しているが、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合も特に大きな変化はみられなかった。大学生の測定結果と同様に、15 分間の書き写し作業は、中学生において顕著な筋疲労を起こす負荷ではなかった。

(2) RMS 平均値に関しては、脊柱起立筋と僧帽筋のいずれの場合も特に大きな変化はみられない。また、大学生の場合と同様に、脊柱起立筋の平均値の最小値は、僧帽筋の平均値の最大値を上回っており、このことは、着座による書き写し作業で、脊柱起立筋の方が僧帽筋よりも筋活動度が高かったことを示している。

(3) 荷重分布重心の移動距離に関しては、高さの違いによる前後・左右の移動距離の差は特にみられなかった。また、高さの 3 段階すべてにおいて、左右方向への動きよりも、前後方向への動きの距離が大きい値を示し、大学生を対象にした実験と同様の結果であった。

(4) 体圧分布の荷重値の変化から、中学生は大学生と同じように3段階のいずれの高さの場合も座骨結節点の周辺部分が大腿部の裏側部分よりも高い荷重値を示していた。しかし、大学生の場合のように、机・椅子の高さが高くなるにつれて、座骨結節点を中心にして加わっていた荷重が大腿部の裏側へ移行して荷重が分散していく現象はみられなかった。

(5) アンケートの意識調査より、高さの感じ方については、1号分高い机・椅子の高さをちょうど良いと感じる生徒が多く、適正値の高さでも低いと感じる生徒が多いことがわかった。この結果は、適正値の高さの机・椅子を使用したときに、ちょうど良い高さだと回答する人が多かった大学生の回答とは異なる結果となった。また、主観的疲労度については、1号分高い机・椅子で最も疲労度が低く、1号分低い高さの時に疲労度が多かった。この結果も、適正値の高さが最も疲労度が低いと回答した大学生の回答とは異なる結果となった。さらに、疲労部位の回答では、右肩と手・腕に疲労を感じる生徒が多かった。大学生では1号分低い高さで腰の疲労度が高かったのに対し、中学生では腰の疲労度が比較的低いこと、また、大学生では手・腕の疲労度が比較的低いのに対し、中学生ではそれが高い疲労度を示していることが特徴的な差であった。

5. 今後の課題

本研究を通して、今後の課題として以下の項目が挙げられる。

(1) 被験者が大学生と中学生の若年層であったため、書き写し作業の最初の数分間で疲労の軽減変化が起こっている可能性があり、RMS近似直線を算出する計測時間の範囲を短く区切ってその経時変化を分析していく必要がある。

(2) 今回の実験では被験者の作業内容の負荷が小さかったか、または作業時間が短かったために、RMS法による筋疲労の評価で明確な差を出すことができなかった。そのため、作業内容と時間について、今後さらに検討する必要がある。

(3) 今回の実験では、僧帽筋の測定部位では筋疲労が大きく検出できない結果であったため、座位姿勢の行動と疲労を分析するために、他の身体部位を探し出して測定する必要がある。

(4) 子どもたちの背の高さだけを拠り所としている現在の机・椅子のJIS規格の算出方法の見直しを行うために、子どもたちの各身体寸法、様々な学習場面での3次元の動作分析、筋電図と体圧分布の計測と意識調査等の結果から、学校用家具の検討を総合的に行う必要がある。

文 献

- 1) 小原二郎, 内田祥哉, 宇野英隆:建築・室内・人間工学, 鹿島出版社, 110-145 (1969).
- 2) 大内一雄, 若井正一, 加藤昌彦:学校用家具の使われ方に関する実態調査, 人間工学, 日本人間工学会編, 11 (2), 63-67 (1975).
- 3) 加藤昌彦, 大内一雄:学校用家具の実態調査(小学校篇), 福島大学教育研究所所報, 38, 61-70 (1975).
- 4) 加藤昌彦, 大内一雄:学校用家具の実態調査(No.2), 福島大学教育研究所所報, 39, 75-80 (1976).
- 5) 長倉康彦編:学校建築の変革(開かれた学校の設計・計画), 彰国社, 12-13, 64-76 (1993).
- 6) JIS S 1021 学校用家具(普通教室机・椅子).
- 7) 文部科学省:学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生の基準」の理論と実践-, 文部科学省, 152-157 (2004).
- 8) 福田英昭, 小仙敏彦:学校用家具の現状と改善点—普通教室用机・椅子に関する実態調査-, 琉球大学教育学部紀要, 55, 207-220 (1999).
- 9) 福田英昭:学校居住環境における家具と身体寸法の適合に関する研究, 財団法人第一住宅建設協会調査研究報告書, 1-86 (2001).
- 10) 大迫靖雄:家庭教育の変遷と技術科教育—親子作業(学校用椅子・机の製作)の試み-, 熊本大学教育工学センター紀要, 3, 19-32 (1986).
- 11) 福田英昭・上村圭祐:学校住環境における家具と児童の身体寸法の適合—机・椅子の号数変化による児童の意識および疲労の変化-, 琉球大学教育学部紀要, 65, 107-115 (2004).
- 12) 福田英昭, 池田明子, 十場誠:学校住環境における家具と児童の身体寸法の適合—差尺の変化による児童の意識と姿勢の変化-, 琉球大学教育学部紀要, 66, 41-54 (2005).
- 13) 藤村昌彦, 河村光俊, 奈良歎:座位作業における座面の傾動が腰背部に及ぼす影響—可動座面椅子を用いた試み-, 広島大学保健学ジャーナル, 1 (1), 65-72 (2001).
- 14) 友延憲幸, 本明子, 石川弘之:人間工学的手法を配慮した椅子の開発—VDT作業における腋下支持の肩部負担軽減効果に関する検証-, 福岡県工業技術センター研究報告, 15 (2005).
- 15) 高木秀和, 松田健一:アーゴノミ系家具の機能解析—人間工学に基づく椅子の設計・製作-, かごしまウッディテック・フォーラム, 20, 54-59 (2001).
- 16) 岡田守彦:講座;臨床神経生理学(6)表面筋電図, Journal of clinical rehabilitation, 8 (10), 964-970 (1999).
- 17) 水戸和幸:生体情報の取得・解析・評価方法(I)生体の筋機能評価, 電気通信大学システム工学科システム工学実験書, 1-6 (2004).