

博士(医学) 大西徳明

学位論文題名

上肢作業における筋電図振幅からみた筋的負担と
身体的能力に関する研究

学位論文内容の要旨

はじめに

近代産業における大量生産方式は技術革新を重ね作業形態を著しく変貌させた。装置産業においては中央制御室は監視作業となり、工場にあってはベルトコンベヤーの導入により作業は部品の供給、組立、ハンダ付け、エアードライバーによるネジ締め、製品検査など反復繰り返しの上肢動作となり、事務作業にはコンピューターが導入され、VDT作業など事務機器操作を専業とする新しい作業を生み出した。しかし、これら作業はエネルギー消費量からみた労働強度指数は極軽作業の範囲であり、苦汗労働からの解放と合わせ、近代的設備のもとで作業環境は整い、労働条件の改善も著しいものとはいえ、これら作業には若年女子労働者が多く就労するようになった。これらの現代的上肢反復作業の生体負担特性は従来のエネルギー消費論的理解だけでは不十分であるといわなければならず、その労働負担特性の解析と筋負担による職業性骨格筋系障害予防ならびに労働能力に関する基礎的身体能力への影響、体力保持法などの検討が重要な課題としてあると考えられた。

本研究では現代的上肢作業にともなう生体負担の特性を労働生理学的に解明することであるが、従来的な研究方法の意義を考慮しつつも、基本的には上肢反復作業の筋的負担を念頭に筋力-持久力関係から長時間労作を可能にする許容負荷の解析、実験的な金銭登録機におけるキーボードの高さや筋的収縮強度など入力作業負担についての基本的検討、加えて、上肢を頻繁に動かすフィルム巻き取り実作業を対象に筋負担の筋電図学的解析および反復作業者の身体的能力に与える影響を同一事業所の従来的事務作業従事者と比較し、現行の職業的課題について議論した。

研究方法

実験の筋労作形態は握りと手首伸展の二つの等尺性筋収縮で、負荷方法は継続的筋収縮が一定の筋力を保持し、律動的筋収縮は反復頻度ごとに1:1の収縮と休止を繰り返す方法である。負荷筋力は継続的筋収縮が最大筋力比12~74%であり、律動的筋収縮は負荷筋力比別に求められた最大反復頻度を基準に最大筋力比15%、30%、60%で、反復頻度比10~60%の筋収縮労作を行わせた。金銭登録機の模擬商品を用いた入力実験は3機種について、キーボードの高さを80~125cmの4段階の作業と入力しやすい高さ条件で30分間の連続入力作業を行わせた。フィルム巻き取り実作業者については作業中の疲労自覚症状や肩の筋圧迫痛閾値の計測を行い、身体的能力の測定項目は体格、握力、腕外転筋力、伸脚力、背筋力などで、対象者の年齢範囲は19歳から34歳であり、人数は反復作業者109名、事務作業者74名である。なお、筋電図はそれぞれの実験において表面電極法で総指伸筋、三角筋、僧帽筋などから導出した。

結果および考察

上肢を反復使用する姿勢拘束性は局所筋肉の収縮形態を静的にすることが考えられ、こ

これらの負担の様相を解析する基本的実験として等尺性握り劳作と手首の伸展劳作の負荷強度別耐久時間を求めた。持久時間は最大筋力に対して20%を下回らないと有効な延長はみられなく、30分の持久時間可能の状態においても、その劳作開始から3分1ぐらいの時間より筋痛が生ずる特徴がみられた。この筋痛に耐える時間を長くして、筋肉のダメージを大きくしないためには最大筋力比を10%以下にすることが、個人差の大きい負担を過重なものにしない許容負荷荷重であることが明らかとなった。一方、等尺性律動収縮劳作の反復頻度は収縮強度が低くなるほど高くなる関係が成立するが、反復頻度の高さは短時間で疲労困憊をもたらし、律動的劳作の収縮と弛緩を繰り返す休止期の持久時間の延長効果は最大筋力比60%では反復頻度比が10% (0.5Hz)、最大筋力比30%では反復頻度比30% (2.0Hz)、最大筋力比15%では反復頻度比が40% (2.6Hz)で、最大筋力比10~20%近辺では最大反復頻度が40%以下にならないと疲れを早期に出現することが判明した。また、筋劳作を重ね疲労の進行した段階では筋電図発射に弛緩休止のみられない筋負担のより大きい現象のあることを指摘した。

金銭登録機操作経験者による実験的模擬商品入力作業時間は通常の入力速度で最大努力入力時間の63~84%に達しており、これらの作業速度では筋電図発射からみた筋緊張を高く継続する静的筋収縮パターンがみられ、最大努力によるテスト収縮時筋電図振幅に対して前腕伸筋や僧帽筋では最大筋力比15~25%となり、筋疲労を大きくしない筋負荷強度10%を大きく上回った。また、入力作業面の高さ条件は肘高を中心とした身長の55~65%くらいが相対的に筋負担を小さくするところとみられ、その範囲を越える条件では腕、肩、腰の筋負担を大きくした。

この上肢動作にともなう筋電図発射パターンが静的緊張を継続することは実験的条件だけにみられるものではなく、現場的作業のフィルム巻き取り作業において、上肢動作が毎分20回前後に達する動作頻度においてみられ、その最大筋力比は20~30%に達し、筋的負担の軽くないことが認められた。従って、作業後における疲労自覚症状の「肩がこる」の訴え率はA群66.3%、B群75.9%、C群93.3%となり、作業量の多いC群が肩の疲れを高率に示した。それに比べて、旧来的事務作業者群の「肩こり」の訴え率は34.7%で、複数の作業を選択的にする条件では低位な疲れの訴え率であった。

僧帽筋上部繊維をバネ式圧力計で調べた筋圧迫痛閾値は反復作業者109名中1.5 kg/cm²までに痛みを訴えた作業者は83.3%であり、事務作業者では74名中48.0%であった。反復作業者の肩の段階別筋圧迫痛閾値が身体的能力では体格による差がみられないが、筋圧迫痛閾値は1.5 kg/cm²以上に比べ、閾値の低い0.6 kg/cm²以下群は上腕外転筋力や背筋力で統計学的に有意に低い結果がみられ、局所的筋ダメージが全身的身体能力に後退的影響を及ぼしているとみられた。また、反復作業に従事する作業者群と事務作業者群とを比較した身体的能力は体格面では事務作業者がやや大きいが統計学的有意差はみられなかった。それに比べると上腕外転筋力、伸脚力、背筋力などで反復作業者が有意に低位であり、作業形態の身体的能力に与える影響は握力のように比較的日常的に使用する頻度の多い動作に関わる筋群などへの後退的影響は小さく、それに比べると比較的粗大な筋力の低下の大きいことがみられた。これは日常生活では大きな筋群が比較的低水準の筋使用状況にあり、全身の筋肉を強く収縮することの少ないと想定される。最近の加齢による女子の身体的能力の変化パターンが高等学校卒業年齢直後に最も優れ、従来指摘されてきた加齢的变化が30歳前後で最高値を形成する経緯と異なることは同じ事象とみられ、現代的労働生活の身体的能力に与える影響が女子の痩身化傾向と合わせ、後退する状況が危惧される。

結論

労働者の身体的能力は健康状態と合わせ労働能力の両輪をなすもので、加齢的変化のなかで、それら能力の維持、向上が重要である。従って、最近の生活習慣病への予防対策では食生活の改善、ストレスの解消、生活のなかでの身体を動かす習慣の必要性が指摘されており、企業においても積極的な健康体力づくり事業が取り組まれている。しかし、労働

者の生活改善には健康状態の多面的把握と作業条件・作業環境の改善による働きやすさと安全の確保、静的局所筋緊張など疲労過多をもたらす要件の排除などの多面的対策がダメージを受けた身体的能力の回復や加齢的機能の後退を抑制すると考えられた。

学位論文審査の要旨

主査 教授 齋藤和雄

副査 教授 岸 玲子

副査 教授 真野行生

学位論文題名

上肢作業における筋電図振幅からみた筋的負担と 身体的能力に関する研究

本研究は現代的上肢作業にともなう生体負担の特性を労働生理学的に解明することであり、反復上肢作業の筋的負担を金銭登録機におけるキーボードの高さや筋的収縮強度など入力作業負担および上肢を頻繁に動かすフィルム巻き取り作業の筋負担について筋電図学および身体的能力に与える影響を事務作業従事者と比較検討した。

実験は握りと手首伸展の二つの等尺性筋収縮で、負荷方法は一定の筋力を保持する継続的筋収縮、反復頻度1:1の律動的筋収縮と休止を繰り返す方法である。負荷筋力は継続的筋収縮では最大筋力比12~74%、律動的筋収縮では15%、30%、60%で、反復頻度比10~60%の筋収縮労作を行わせた。金銭登録機の模擬商品を用いた入力実験は3機種について、キーボードの高さを80~125cmの4段階の作業と入力しやすい高さ条件で30分間の連続入力作業を行わせた。フィルム巻き取り実作業者については作業中の疲労自覚症状や肩の筋圧迫痛閾値の計測を行った。身体的能力の測定項目は体格、握力、腕外転筋力、伸脚力、背筋力などで、対象は19歳から34歳、人数は反復作業者109名、事務作業者74名である。なお、筋電図は表面電極法で総指伸筋、三角筋、僧帽筋、から導出した。

等尺性握り労作と手首の伸展労作の負荷強度別耐久時間は最大筋力に対して20%を下回らないと有効な延長はみられず、30分持久可能な状態においても、その労作開始から3分の1ぐらいの時間より筋痛が生ずる特徴がみられた。この筋痛に耐える時間を長くして、筋肉のダメージを大きくしないためには最大筋力比を10%以下にすることが、負担を過重にしない許容負荷荷重であることが明らかとなった。一方、等尺性律動収縮労作の反復頻度は収縮強度が低くなるほど高くなるが、反復頻度は短時間で疲労困憊をもたらし、律動的労作の収縮と弛緩を繰り返す持久時間の延長効果は、最大筋力比60%では反復頻度比が10% (0.5Hz) 、最大筋力比30%では反復頻度比が30% (2.0Hz) 、最大筋力比15%では反復頻度比40% (2.6Hz) 、最大筋力比10~20%近辺では最大反復頻度が40%以下でないと疲れが早期に出現することが判明した。また、筋労作を重ね疲労の進行した状態では筋電図発射に弛緩休止のみられない現象のあることが推測された。

金銭登録機操作経験者による実験的模擬商品入力作業時間は通常の入力速度で最大努力

入力時間の63~84%に達しており、これらの作業速度では静的筋収縮パターンがみられ、最大努力によるテスト収縮時筋電図振幅に対して前腕伸筋や僧帽筋では最大筋力比15~25%となり、筋疲労をのみられない筋負荷強度10%を大きく上回った。また、入力作業面の高さ条件は肘高を中心とした身長の55~65%くらいが相対的に筋負担を小さくするところとみられ、その範囲を超える高さでは腕、肩、腰の筋負担を大きくした。

フィルム巻き取り作業では、上肢動作が毎分20回前後に達する頻度で筋電図発射パターンみられ、その最大筋力比は20~30%に達した。従って、作業後における疲労自覚症状の「肩がこる」の訴え率はA群66.3%、B群75.9%、C群93.3%となり、作業量の多いC群が肩の疲れを高率に示した。それに比べて、事務作業者群の「肩こり」の訴え率は34.7%で、複数の作業を選択的にする条件では低位な疲れの訴え率であった。

反復作業者の肩の段階別筋圧迫痛閾値は体格による差がみられないが、筋圧迫痛閾値は $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上に比べ、閾値の低い $0.6\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下群は上腕外転筋力や背筋力で有意に低い結果がみられ、局所筋のダメージが全身的身体能力に後退的影響を及ぼしていると推測された。また、反復作業に従事する作業者群と事務作業者群との比較では上腕外転筋力、伸脚力、背筋力などで反復作業者が有意に低位であった。これは日常生活では大きな筋群の使用状況が低水準にあり、全身の筋肉を強く収縮することの少ないと想定される。

審査にあたって副査の岸教授はフィルム巻き取り作業などの反復作業で筋力の低下がみられたことに関連して、負担の測定前の筋力が事務作業者と反復作業者の間で差はなかつたのか、自覚症状と熟練度、経験年数、個体差などについて、次いで、副査の真野教授から筋負担の評価に関して、誤りだけでなくスキルも有効でないか、労作性の厳密性、実験条件に対する被験者のモチベーション、バラツキなども関係することについて質問がなされた。申請者からはこれらの質問に対して、この種の研究に関する豊富な知識をもとに満足する回答が得られた。

本論文は技術革新に伴って多くなった上肢の各種反復作業の筋負担を明らかにしたもので、審査員一同は得られたこれらの成果を高く評価し、申請者が博士（医学）の学位を受けるのに十分値するものと判定した。