

学位論文 博士（工学）

心拍由来体表面振動を用いた低筋力作業時
筋疲労解析

2012 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

川本 貴志

主 論 文 要 旨

報告番号	①	第	号	氏 名	川本 貴志
主 論 文 題 目 :					
心拍由来体表面振動を用いた低筋力作業時筋疲労解析					
(内容の要旨)					
<p>心拍由来体表面振動(以後 HSV)とは、心臓からの拍動が直接または血管を介して体表面に波及した振動である。長時間の PC 作業などで生じる肩こりや上肢のだるさのような疲労状態は、発揮筋力が小さいために従来の筋活動電位解析では必ずしも適切に評価できない。一方、外部加振機器を用いた体表面振動からの筋の力学特性計測は作業を中断する必要があり、実作業中の変化や回復過程を知るには適していない。このため、本研究では低筋力作業中の筋の力学特性変化とそれに関連した筋疲労の解析を目的として、対象とする比較的安静な作業条件ではほぼ一定レベルを保つ心拍を外部加振源とした体表面振動解析を行った。</p> <p>第 1 章では、筋疲労に関わる先行研究を示し、提案する HSV の意義と位置づけを示した。</p> <p>第 2 章では、従来から筋音として知られる筋収縮由来の体表面振動(MSV)と HSV の比較を行い、低筋力条件では、筋および周囲組織の力学特性を反映した心拍由来の粗大振動である HSV が、筋線維活動由来の局所的振動である MSV よりも支配的であることを示した。これにより、(1) MSV や体動などの外乱をキャンセルして HSV のみを取り出す信号解析と、(2) 加振強度変化の影響排除が、HSV 解析の課題になることを示した。</p> <p>第 3 章では、HSV から筋の力学特性変化を解析する方法を検討するために、筋電位計測との併用による疲労解析が容易な上腕二頭筋と、一般的にこりを生じやすい僧帽筋、および HSV の加振強度を反映する心臓直上の HSV を比較した。その結果、上腕二頭筋では動脈を介して伝わる心音(心臓弁活動に伴って生じる高周波振動)が、僧帽筋では心臓から直接伝わる心尖拍動(心収縮に伴う心臓全体の振動)が、筋に自由減衰振動を生じさせており、その減衰傾向に筋疲労に伴う筋の力学特性変化が表れる可能性があることがわかった。</p> <p>第 4 章では、3 章で得た HSV からの筋疲労評価方針を検証するために、上腕二頭筋に最大収縮力の 10%の張力を 5 分間維持させた際を解析した。2 章に示した課題(1)は、身体運動の拘束および HSV を動脈拍動に同期させて加算平均することで解決した。課題(2)については、加振強度を表わす拍動波形のピーク振幅値が実験中を通じて有意に変化しないことを確認した。HSV 波形の持続度を表わす平均振幅は筋収縮後に大きくなり、この間の周波数変化は小さかったことから、筋の粘性特性の減少が示唆された。この変化は筋収縮後の休息中に一般的な電氣的疲労の回復時間を過ぎても持続したことから、HSV が休息状態を含む低筋力条件からでも筋の力学特性変化に由来した筋疲労を検出できることを示した。</p> <p>第 5 章では、HSV の実用性を検討するために、3 時間の PC 作業中の僧帽筋上を計測した。4 章で開発した加算平均解析を体動などの除去にも適用するために、心拍ピーク時刻はより明確な心電から検出した。課題(2)は、加振強度を表わす心尖部 HSV で体表面上の HSV を正規化することで行った。これにより、連続 PC 作業時間が 2 時間以上になると、僧帽筋 HSV の持続度が有意に増加し、筋疲労が蓄積していることを確認した。</p> <p>第 6 章では、以上の結果を総合して結論を述べた。</p>					

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, First name KAWAMOTO, Takashi
Title Muscle fatigue analysis during low-contraction level tasks using heartbeat-elicited body surface vibration		
Abstract <p>Heartbeat-elicited body surface vibration (HSV) is generated by pulses of heartbeats that propagate through soft body tissues or vessels. Widespread electromyographic analysis cannot evaluate muscle fatigue during prolonged tasks with low-level contraction such as computer work. A device can estimate the mechanical properties of muscle, which reflect muscle fatigue, by analyzing free vibration after a force impulse on the body surface. However, such devices are unsuitable for the tasks because the force impulse interferes with the tasks themselves. This study used heartbeats as the force impulse generator.</p> <p>Chapter 1 introduced the necessity and uniqueness of HSV by investigating previous studies of the muscle fatigue field.</p> <p>Chapter 2 described a comparison of HSV with body surface vibration elicited by muscle contraction (MSV), which is widely known as mechanomyography, to ascertain fundamental HSV characteristics. Results revealed that HSV, which is bulk movement caused by heartbeats and reflects the mechanical deformation characteristics of the muscles, are much greater than MSV, which is local vibrations from contracting muscle fibers, at the low contraction level. That fact implies two requirements for mechanical vibration analysis of HSV: (1) extracting HSV from body surface vibrations that also include noise such as MSV and body motion, and (2) controlling the force impulse.</p> <p>Chapter 3 presented evaluation of the HSV of the biceps brachii muscle (BB) of which fatigue was easily evaluated using electromyography (EMG), HSV of the upper trapezius muscle (UT), which often becomes stiff, and HSV on the heart, which reflects the strength of force impulse generating HSV. Both HSV of BB and UT show a free damped vibration form. However, each HSV generator differs: HSV of BB is generated by phonocardiography (PCG) caused by noise of heart valves and vessels. In contrast, HSV of UT reflects apex beats: heart movement during systole. Additionally, it was revealed that the mechanical properties of muscle can be evaluated from the damped amount of the HSV waveform.</p> <p>In chapter 4, 5-min isometric contraction of BB 10% MVC was tested to validate the method described above. Requirement (1) was realized by averaging heartbeat waveforms to cancel MSV. Requirement (2) was met by confirming that the peak values of HSV waveform, which represent the strength of the force impulse, were consistent during the experiment. The RMS of the HSV waveform after muscle contraction indicated that the degree of wave sustainment increased, which is likely to have resulted from decreased damping property of muscle because the HSV frequency was almost consistent. HSV can detect muscle fatigue related to the mechanical change of muscle, which remains longer than the electrical change, even during low contraction including resting.</p> <p>In chapter 5, HSV was applied to measurement of the mechanical properties of shoulder muscle during 3 hr of computer work. Peak timings of heartbeats were detected from ECG, which has less noise. To satisfy requirement (2), the HSV amplitude of UT was divided by that of HSV on the heart, and the input–output response of HSV generation was evaluated. The RMS of shoulder muscle HSV increased after 2 hr of computer work.</p> <p>Chapter 6 presents the conclusions.</p>		