



Bad Vibrations

Untersuchung der 3D-Schwingungsübertragung an einem Hand-Arm-System mit dem 3D-Scanning-Laser-Vibrometer

Einführung

Die Simulation der biodynamischen Antwort bei der Übertragung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System ist wichtig, um durch Vibrationen verursachte Beschwerden, Verletzungen und Erkrankungen besser zu verstehen. Herkömmliche Beschleunigungsmesser, die allerdings mit ihrer Eigenmasse die Ergebnisse beeinflussen, und auch Einpunkt-

Laservibrometer [1, 2, 3] wurden bereits zur Erforschung von Schwingungsübertragungen eingesetzt. Weiterführende Simulationen des Systems erfordern mehrachsige Übertragungsfunktionen. Das Ziel dieser Studie ist daher, die Schwingungsübertragung an einem menschlichen Hand-Arm-System in drei zueinander orthogonalen Richtungen (x_h , y_h und z_h) zu untersuchen.

Versuchsaufbau

Die Studie wurde an einem neuartigen 3D-Vibrationstestsystem von MB Dynamics mit sieben gesunden männlichen Versuchspersonen durchgeführt (Bild 1). Die Richtung z_h zeigt entlang des Unterarms, y_h entspricht der Mittelachse des vertikalen Messgerätegriffs und x_h ist die auf der y_h - z_h -Ebene stehende waagrechte Normale. Jede Versuchsperson wurde angewiesen, den Griff bei 30 ± 5 N bzw. 50 ± 8 N mit der dominanten rechten Hand bei einem Ellbogenwinkel von 90° bis 120° und einer Schulterbeugung von 0° bis 30° festzuhalten.

Die Steuerung des Schwingungsgenerators erzeugte eine zufällige, breitbandige Vibration im Frequenzbereich von 16 – 500 Hz, bei einer effektiven Gesamtbeschleunigung von $19,6 \text{ m/s}^2$ in jeder Richtung. Die Kohärenz der Spektren wurde mit 0,9 angenommen. Die Beschleunigungen des Griffs wurden mittels eines integrierten 3D-Beschleunigungsmessers aufgenommen. Dieser stellte die Referenzsignale für die Übertragungsfunktionen zur Verfügung.

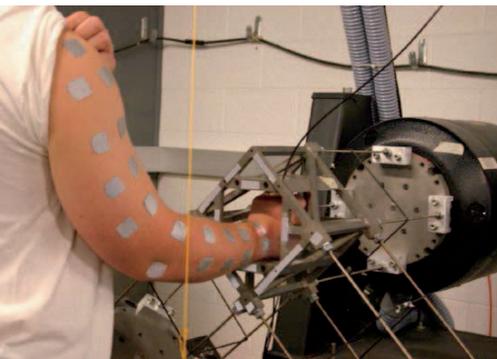


Bild 1: 3D-Hand-Arm-Testsysteme mit Versuchsperson

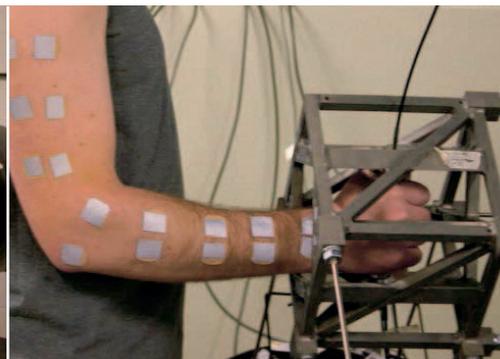


Bild 2: Befestigung der Reflexfolie

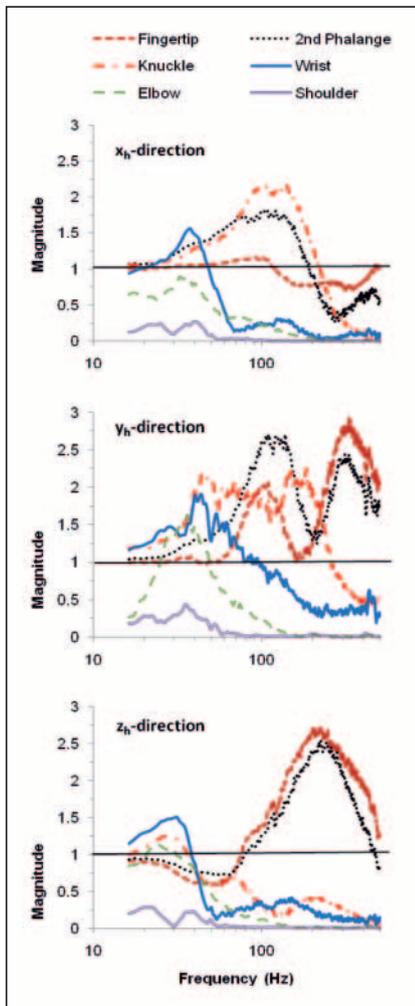


Bild 3: Schwingungsübertragung in drei Raumrichtungen jeweils an der Fingerspitze, am zweiten Fingerknochen und am körpernahen Knochen des Mittelfingers, an Handgelenk, Ellbogen und Schulter

Die auf die wesentlichen Substrukturen des Systems (Finger, Handrücken, Handgelenk, Unterarm, Oberarm und Schulter) übertragenen Schwingungen wurden mit einem PSV-400-3D Scanning Vibrometer von Polytec gemessen. Wegen der Behaarung und um eine gute Lichtreflexion zu gewährleisten, wurden reflektierende Klebebänder mit Hilfe von Pflastern an den entsprechenden Messstellen auf der Haut befestigt (Bild 2). Alle Übertragungsfunktion wurde mit gleichmäßigen Frequenzintervallen von 0,5 Hz im Frequenzbereich von 16 bis 500 Hz dargestellt.

Vorläufige Ergebnisse und Diskussion

Die gemessenen Schwingungsübertragungsfunktionen variierten zwischen den Individuen sehr stark, jedoch sind die grundlegenden Verteilungen einander sehr ähnlich und werden daher anhand der Messdaten einer einzelnen Testperson dargestellt. Bild 3 zeigt die Größenordnungen der dreiachsigen Schwingungsübertragung an sechs wichtigen Stellen des Hand-Arm-Systems. Die Funktion variiert stark, abhängig von Messort und Schwingungsrichtung, mit jeweils mindestens einen dominanten Spitzen- oder Resonanzwert. Die dominanten Resonanzen an Handgelenk, Ellbogen und Schulter liegen in x_h - und y_h -Richtung in einem ähnlichen Frequenzbereich (30 bis 50 Hz). In z_h -Richtung trat Resonanz bei marginal kleineren Frequenzen auf (20 bis 40 Hz). Die Resonanzen der Finger (manchmal zwei oder mehr) waren insgesamt höher und variierten in einem breiten Frequenzbereich (80 bis 400 Hz).

Die an Handgelenk, Ellbogen und Schulter beobachteten Resonanzen stimmten für alle Richtungen gut mit der ersten Resonanz der biodynamischen Antwort aus der Literatur [4] überein, was darauf hinweist, dass das gesamte Hand-Arm-System in diesem Resonanzfrequenzbereich mehr oder weniger in Phase schwingt und die Resonanz primär von den biodynamischen Eigenschaften der Unterstruktur Handfläche-Handgelenk-Arm abhängig ist. Die starke Resonanz der Finger korreliert ebenfalls mit der entsprechenden biodynamischen Antwort und scheint daher primär von den biodynamischen Eigenschaften der Finger abhängig zu sein.

Eine weitere Studie [5] ergab, dass die Frequenzabhängigkeit der Schwingleistungsabsorptionsdichte (Vibration Power Absorption Density = VPAD) eines Fingers der des Hand-Arm-Systems bei Frequenzen oberhalb dessen erster Resonanz entspricht. Während die Schwingleistungsabsorptionsdichte (VPAD) ein gutes Maß für die Schwingungsexposition der Finger sein kann, deuten die in dieser

Studie beobachteten Fingeresonanzen darauf hin, dass die Frequenzgewichtung gemäß der gegenwärtig gültigen Norm (ISO 5349-1, 2001 [6]) wahrscheinlich ungeeignet ist, um die Risiken von schwingungsbedingten Erkrankungen und Verletzungen am Finger zu beurteilen.

Literatur

1. Sörensson, A., and Lundström, R., 1992. Transmission of vibration to the hand, *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 11: 14-22.
2. Deboli, R., Miccoli, G., and Rossi, G.L., 1999. Human hand-transmitted vibration measurements on pedestrian controlled tractor operators by a laser scanning vibrometer, *Ergonomics* 42 (6): 880-888.
3. Concettoni, E. and Griffin, M., 2009. The apparent mass and mechanical impedance of the hand and the transmission of vibration to the fingers, hand, and arm. *Journal of Sound and Vibration* 325(3), 664-678.
4. Dong, R.G., Welcome, D.E., Xu X.S, Warren C., McDowell T.W., and Wu J.Z., 2011. 3-D Mechanical Impedances Distributed at the Fingers and Palm of the Hand. *Proceedings of the 12th International Conference on Hand-Arm Vibration*, Ottawa, Ontario, Canada.
5. Wu, J.Z., Dong, R.G., Welcome, D.E., and Xu, S.X., 2010. A method for analyzing vibration power absorption density in human fingertip. *Journal of Sound and Vibration*. 329:5600-5614.
6. ISO 5349-1, 2001: Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General requirements. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Haftungsausschluss

Der Inhalt dieser Publikation spiegelt nicht notwendigerweise die Ansichten und Verfahrenswesen des National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) wider. Des Weiteren stellt die Erwähnung von Handelsnamen, kommerziellen Produkten oder Organisationen keine implizite Unterstützung durch die US-Regierung dar.

Autoren · Kontakt

Daniel E. Welcome, zzw8@cdc.gov;
Ren G. Dong, Xueyan S. Xu,
Christopher Warren, Thomas W. McDowell
und John Z. Wu

Engineering and Engineering & Control
Technology Branch, Health Effects
Laboratory Division, National Institute
for Occupational Safety and Health,
Morgantown, West Virginia, USA