

VALUTAZIONE DI UN METODO SPERIMENTALE SENZA CONTATTO PER LA MISURA DI TRASMISSIBILITA' DI GUANTI ANTIVIBRANTI: CONFRONTO CON LA NORMATIVA

Lorenzo Scalise, Francesco Rossetti

Dipartimento di Meccanica, Università Politecnica delle Marche, Ancona.

INTRODUZIONE

In Europa una considerevole percentuale dei lavoratori (24%) risulta esposto a vibrazioni trasmesse dagli attrezzi utilizzati; in Italia tale percentuale risulta essere lievemente ridotta (21%), ma ancora di notevole incidenza. (Fonte: Agenzia Europea Salute e Sicurezza sul Lavoro). La correlazione tra esposizioni alle vibrazioni e patologie osteo-articolari (Bovenzi, 1998) e l'assenza di trattamenti clinici specifici per il trattamento della Sindrome da vibrazione mano-braccio (VWF) ha portato l'attenzione dei responsabili della sicurezza verso le attività di prevenzione e diagnosi precoce dei sintomi correlati ad una eccessiva esposizione a vibrazioni. Anche nella norma internazionale ISO5349 è definita una relazione tra l'esposizione a vibrazioni e la comparsa di sintomi associati alla VWF; la norma raccomanda inoltre alcune azioni preventive al fine di ridurre l'esposizione a vibrazioni.

Tra queste è indicata la possibilità di impiegare degli specifici guanti anti-vibranti da intendersi come dispositivi di prevenzione individuali (DPI). L'uso di tali guanti permette di attenuare l'ampiezza della vibrazione trasmessa al sistema mano-braccio. Tali guanti per essere considerati anti-vibranti, devono soddisfare i requisiti indicati nella norma ISO10819; in particolare la relazione tra l'accelerazione misurata sul palmo della mano e quella misurata sull'impugnatura, che è espressa attraverso la quantità di trasmissibilità $TR(\omega)$, è il parametro che viene misurato.

E' stato dimostrato (Hewitt, 1998) come i test secondo la ISO10819 dipendano da fattori influenzanti la misura quali: Caratteristiche biodinamiche del sistema mano-braccio, variabilità tra soggetti, disallineamenti dell'adattatore palmare impiegato all'interno del guanto. In particolare, si è dimostrato che quest'ultimo fattore può provocare una variabilità nella misura di TR fino a 20% (Hewitt, 1998).

Recentemente (Scalise, 2007) è stato proposto un metodo che permette di misurare senza contatto, utilizzando strumenti laser, la trasmissibilità locale di alcuni distretti della superficie della mano (in corrispondenza di strutture articolari prossime alla pelle).

Nello studio condotto si è evidenziato come la mano, i valori di accelerazione misurata su tali distretti anatomici cambino in funzione della posizione ed in

particolare si è giunti a localizzare alcuni di tali punti in cui l'accelerazione è amplificata a causa di fenomeni di risonanza.

Con il metodo indicato nella norma ISO18819, si determina un unico valore di trasmissibilità per tutta la mano per mezzo di un accelerometro posizionato nell'adattatore palmare, modiche non permette di differenziare i contributi dati dai diversi distretti anatomici; è da considerare inoltre l'invasività della procedura di misura che richiede di usare l'adattatore dentro il guanto e la bassa riproducibilità del metodo proposto (Hewitt, 1998).

L'obiettivo di questo lavoro è quello di valutare la trasmissibilità di un guanto anti-vibrante utilizzando, sia una procedura per misure senza contatto per la misura della trasmissibilità locale della mano (Scalise, 2007), sia la procedura indicata dalla norma ISO10819.

1 - BANCO DI PROVA E PROCEDURA DI MISURA

Il set-up sperimentale utilizzato è illustrato in Figura 1. Si è utilizzata una impugnatura cilindrica in alluminio (30mm di diametro e 152mm di lunghezza), strumentata con celle di forza estensimetriche per la misura della forza di presa esercitata; tale impugnatura è montata su uno shaker elettrodinamico controllato in accelerazione e disposto con il suo asse di oscillazione parallelamente al pavimento.

L'impugnatura è equipaggiata con un accelerometro piezoelettrico monoassiale che, è usato sia come retroazione verso il controllore sia come sensore per misurare l'accelerazione sull'impugnatura. L'asse dello shaker è disposto in altezza per garantire una corretta postura del soggetto come garantito dalla normativa stessa. Un vibrometro laser Doppler misura la velocità della superficie del dorso della mano lungo la direzione z (per mezzo di uno specchio). In corrispondenza del punto di misura si è utilizzata una cartina retroriflettente ($5 \cdot 5 \text{ mm}^2$) per aumentare la quantità di luce retroriflessa.

La forza di spinta (Push or pull force) esercitata dal soggetto è stata misurata utilizzando una piattaforma dinamometria e il suo valore, come anche quello della forza di presa, è istantaneamente visualizzato al soggetto. Per misurare infine l'accelerazione in ingresso sul palmo della mano lungo l'asse principale di vibrazione (asse z) è stato utilizzato un secondo accelerometro piezoelettrico monoassiale incapsulato all'interno di un adattatore palmare (ISO10819).

I segnali analogici generati dai trasduttori (due accelerometri, vibrometro, pedana, celle di carico estensimetriche) sono acquisiti, campionati e sincronizzati mediante una scheda di acquisizione.

I dati sono poi processati su un PC utilizzando un software scritto in ambiente Labview. Per le prove in oggetto si è utilizzato un spettro M (16-400 Hz) come imposto dalla norma ISO10819.

Si sono analizzati 3 soggetti maschi sani senza esposizioni significative precedenti (in Tabella 1 sono sintetizzati l'età, la massa, l'altezza, il body mass index, la circonferenza e la lunghezza della mano e la relativa taglia (come riportato nella norma EN420).

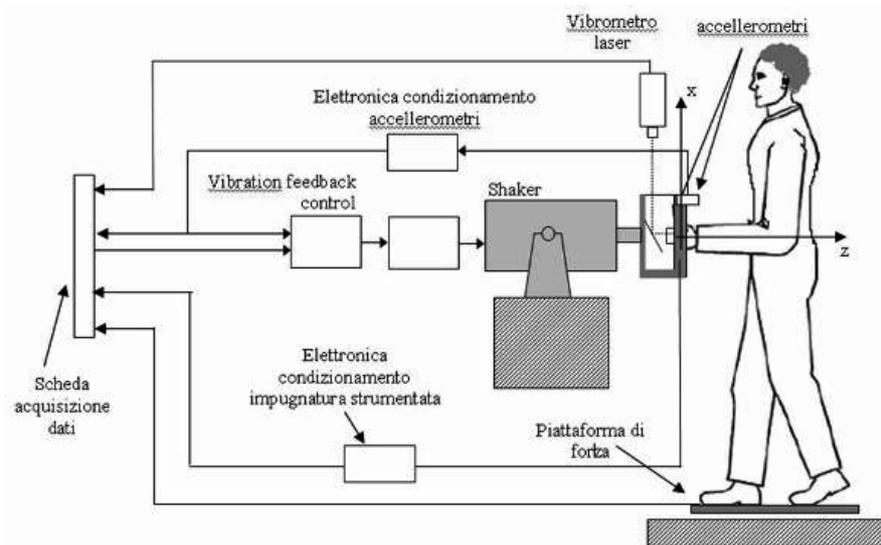


Fig. 1 Banco di prova utilizzato.

L'operatore sale sulla piattaforma di forza, con l'avambraccio nella stessa direzione della vibrazione; il gomito deve formare un angolo di $90^\circ \pm 10^\circ$ e non deve toccare il corpo durante la prova, mentre il polso può essere curvato fino a 40° nella direzione dorsale. Durante tutta la prova, della durata di 30 secondi, l'operatore mantiene una forza di spinta di 50 ± 8 N e una forza di grip di 30 ± 5 N.

Tabella 1: dati dei soggetti analizzati

OPERATORI	S1	S2	S3
Massa (kg)	76.0	70.0	82.0
Altezza (m)	1.79	1.66	1.87
BMI (kg/m^2)	23.7	25.4	23.5
Lunghezza mano (cm)	18.0	18.5	21.0
Larghezza mano (cm)	21.5	23.5	23.5
Taglia mano	8.0	8.5	9.0

I punti di misura con il vibrometro laser sulla superficie del dorso della mano (P1, P3, P4 punti prossimali o nocche e P9, P11 e P12 punti distali rispettivamente del dito indice, anulare e mignolo, sono stati scelti riferendosi a studi di ricerca precedenti (Nataletti et al. 2005; Paone, Scalise e Rossetti 2007; Sorensson and Burstrom 1998, 1997).

Per ogni soggetto sono state effettuate 5 prove per ciascun punto di misura definito in precedenza e per due diversi tipi di prova: a mano nuda e con guanto certificato secondo la normativa ISO 10819.

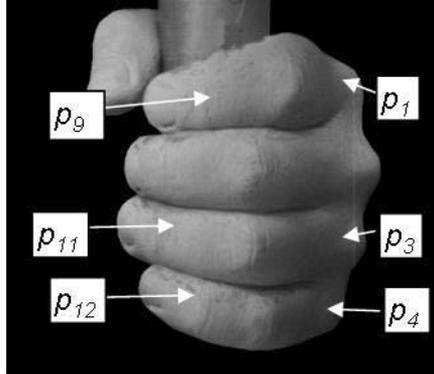


Figura 2. Punti di misura, p_k sulla mano dei soggetti durante la prova.

2 - CALCOLO DELLA TRASMISSIBILITA'

La trasmissibilità TR è stata misurata come rapporto tra accelerazioni equivalenti misurate dall'accelerometro palmare (a_{wsP}) ponderata secondo lo spettro M o misurata con il vibrometro laser Doppler e l'accelerazione equivalente misurata dall'accelerometro di riferimento (a_{wsR}).

Nel caso della misura di trasmissibilità secondo il metodo ISO10819, in particolare quindi definiamo la trasmissibilità della mano nuda (TR_{sb}) e quella della mano con il guanto (TR_{sg}) come:

$$TR_{sb} = \frac{a_{wsPb}}{a_{wsRb}} \quad \text{e} \quad TR_{sg} = \frac{a_{wsPg}}{a_{wsRg}};$$

dove le accelerazioni a_{wsPb} e a_{wsPg} sono calcolate sul palmo senza e con il guanto, mentre a_{wsRb} e a_{wsRg} sono calcolate sull'impugnatura senza e con il guanto. La trasmissibilità corretta del guanto è quindi definita come:

$$TR_m = \frac{TR_{sg}}{TR_{sb}},$$

mentre la trasmissibilità corretta media \overline{TR}_M è ottenuta come media aritmetica delle 15 prove eseguite (cinque misurazioni per ciascuno dei tre soggetti).

Nel caso della determinazione della trasmissibilità con il vibrometro laser Doppler, si sono calcolate le trasmissibilità TR_i per ciascuno dei punti di misura P_i della mano individuati in Figura 2.

In particolare quindi si è definita la trasmissibilità della mano nuda (TR_{vsbi}) e quella della mano con il guanto (TR_{vsgi}) come:

$$TR_{vsbi} = \frac{a_{wvsPbi}}{a_{wsRb}} \quad \text{e} \quad TR_{vsgi} = \frac{a_{wvsPgi}}{a_{wsRg}};$$

dove le accelerazioni a_{wvsPbi} e a_{wvsPgi} sono calcolate nei punti P_i indicati in Figura 2 senza e con il guanto, mentre a_{wsRb} e a_{wsRg} sono calcolate sull'impugnatura senza e con il guanto. La trasmissibilità TR_{mi} corretta del guanto è quindi definita per ciascuno dei punti P_i come:

$$TR_{mi} = \frac{TR_{vsgi}}{TR_{vsbi}},$$

mentre la trasmissibilità corretta media \overline{TR}_{Mi} è ottenuta come media aritmetica delle 5 prove eseguite.

Infine, per permettere una comparazione tra le trasmissibilità \overline{TR}_M e \overline{TR}_{Mi} si è definita la trasmissibilità totale \overline{TR}_{Mtot} calcolata come media aritmetica di tutte le trasmissibilità \overline{TR}_{Mi} . Il valore di trasmissibilità per il quale la norma ISO 10819 definisce un guanto "antivibrante" è: $TR_M < 1.0$

3 – RISULTATI

Confrontando le trasmissibilità medie totali, \overline{TR}_M e \overline{TR}_{Mtot} , ottenute con i due metodi proposti si ottengono per il campione di soggetti misurati i valori riportati in Figura 3.

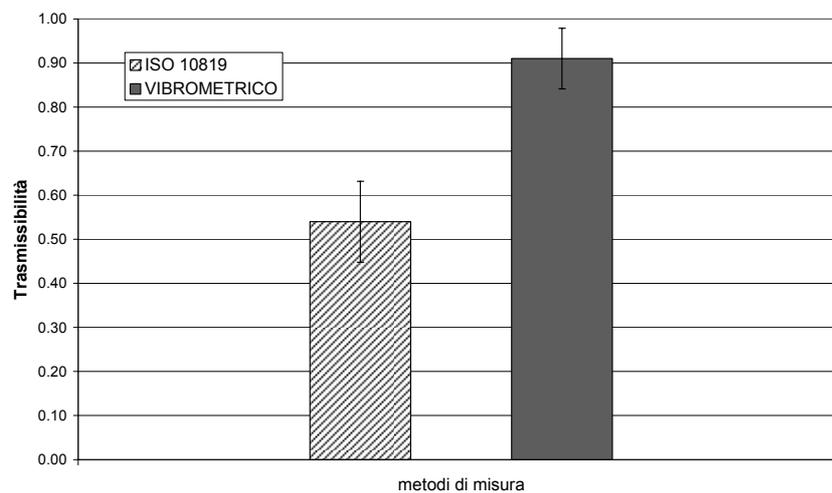


Figura 3: Trasmissibilità media totale – confronto tra metodi

Risulta evidente che, il guanto analizzato soddisfa le specifiche che caratterizzano i guanti anti-vibranti indicate nella norma ISO10819 ($\overline{TR}_M = 0.54$); si osserva infine che anche il valore di trasmissibilità \overline{TR}_{Mot} risulta essere minore di 1, anche se comunque la trasmissibilità media totale del guanto misurata con il metodo vibrometrico senza contatto risulta essere maggiore del 41% della trasmissibilità media misurata come da normativa.

Tale tendenza è confermata anche dai dati riportati in Figura 4; dove si confrontano le trasmissibilità misurate con i due metodi di misura analizzando i valori di trasmissibilità media del guanto (5 prove) per ciascuno dei 3 soggetti analizzati.

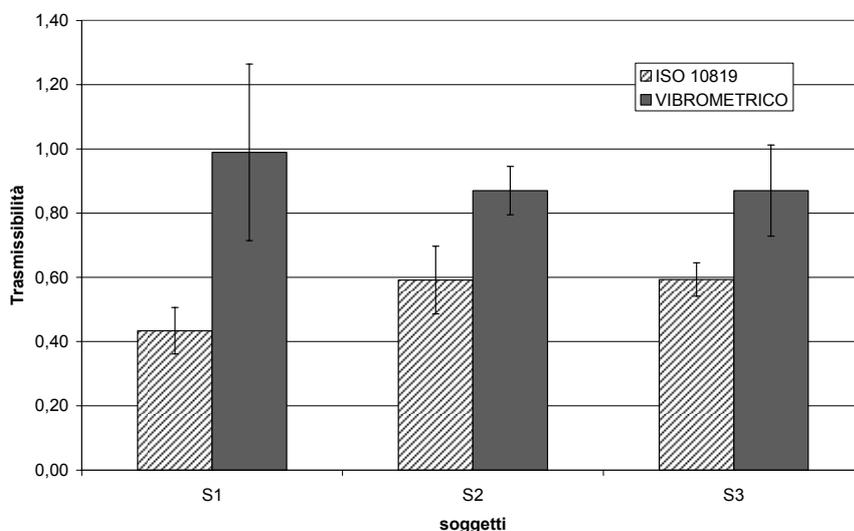


Figura 4: Trasmissibilità media intrasoggetto – confronto tra metodi

Si osserva come per tutti e tre i soggetti si abbia $\overline{TR}_{Mi} > TR_m$; inoltre per due di essi (S₁ e S₃), il valore di trasmissibilità risulta essere molto prossimo a 1.0 e comunque compreso all'interno dell'intervallo individuato dalla deviazione standard.

Se si analizzano i valori di trasmissibilità \overline{TR}_{Mi} (Figura 5) ottenuti nei diversi punti di misura (riportati in Figura 2) su tutti i soggetti e li si confrontano con i valori di \overline{TR}_M (Trasmissibilità media del guanto per tutti i soggetti tramite metodo ISO 10819) si osserva come le \overline{TR}_M sono sempre superiori al valore delle \overline{TR}_{Mi} . In particolare si osserva come per il punto P₁ e P₉ le trasmissibilità differiscano fino ad un massimo del 57% e del 49%.

In Figura 6 i valori TR_{vsbi} (trasmissibilità nel punto P_i senza guanto), TR_{vsgi} (trasmissibilità nel punto P_i con guanto) e TR_{mi} (rapporto tra le trasmissibilità nel punto P_i con e senza guanto) sono riportati.

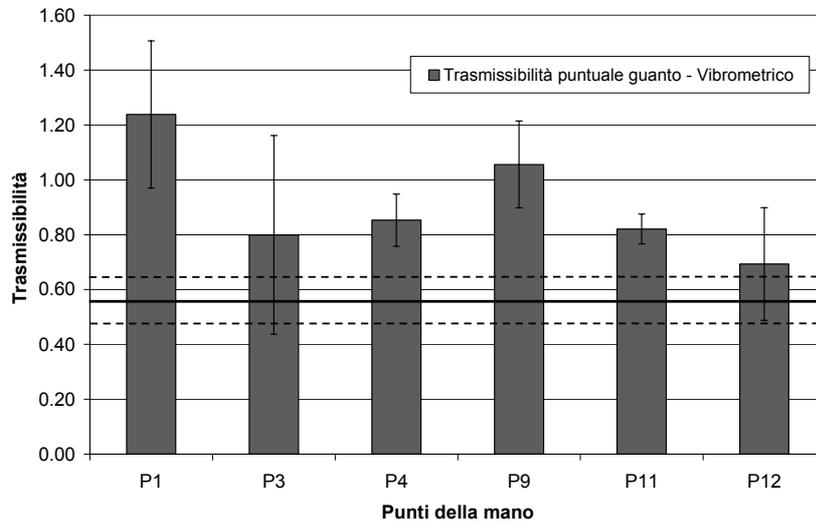


Figura 5: Distribuzione spaziale trasmissibilità media totale – metodo vibrometrico (si riporta anche il valore $\overline{TR}_{Mi} \pm \sigma$).

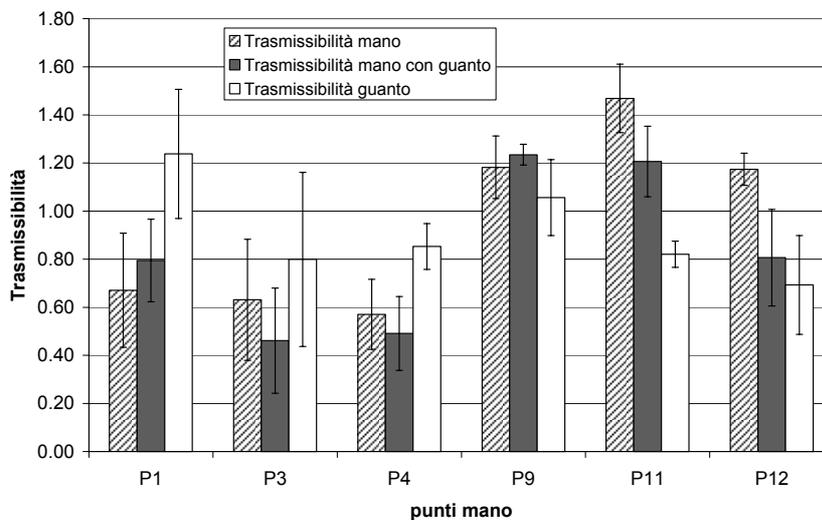


Figura 6: Distribuzione spaziale trasmissibilità media – Mano, Mano con guanto e Guanto

Dagli ultimi due grafici si può osservare come il metodo di misura normato ISO 10819, utilizzando un solo accelerometro inserito nell'adattatore palmare, permetta di calcolare un valore di trasmissibilità mediato per i soggetti in esame; tale valore, essendo univoco, risulta essere necessariamente rappresentativo dell'attenuazione

complessiva che il guanto è in grado di garantire su tutta la mano. Diversamente, con il metodo vibrometrico senza contatto è possibile invece definire un valore di attenuazione del guanto in funzione del punto della mano in analisi corrispondente ad uno specifico settore anatomico.

La distribuzione spaziale di trasmissibilità del guanto evidenzia - in media sui tre soggetti in esame - come i punti 3,4,11 e 12 presentino - con il guanto indossato - un'attenuazione maggiore (compresa tra 0.69 e 0.85) mentre per i punti 1 ed 9 si osserva una trasmissibilità di 1.24 e 1.06.

La distribuzione spaziale di trasmissibilità della mano con guanto mostra invece valori massimi per i punti P₉ e P₁₁ (1.23 e 1.21 rispettivamente) e valori minimi sui punti P₃ e P₄ (0.46 e 0.49 rispettivamente).

Infine si osserva come i valori di trasmissibilità della mano senza guanto confermino la tendenza dei punti distali di presentare valori di trasmissibilità maggiori rispetto ai punti prossimali così come precedentemente riportato in letteratura (Scalise et al, 2007, Burstrom, 1998).

4 - CONCLUSIONE

In questo lavoro si presenta un metodo innovativo per la misura senza contatto della trasmissibilità di guanti anti-vibrazioni e il confronto di questo metodo con quello indicato dalla normativa vigente (ISO 10819).

L'efficacia dell'uso di tecniche ottiche, come il vibrometro laser, per misure di accelerazione sulla superficie del sistema mano-braccio è stata dimostrata in passato da diversi autori: Tomasini (1994, 1995) da Sorenson e Burstrom (1998, 1997), Smutz (2002), Scalise (2004, 2007) e Smeatham (2004). Ciò spiega il crescente sviluppo dell'impiego di queste tecniche in studi condotti su strumenti vibranti per i vantaggi e le opportunità che esse offrono, come la possibilità di effettuare misure locali di vibrazione direttamente sul sistema mano-braccio e nel punto esatto di interesse eliminando gli effetti di carico associati all'utilizzo di trasduttori accelerometrici tradizionali, e i problemi di corretta installazione ed allineamento del trasduttore.

Infine, con il metodo vibrometrico, è possibile definire la distribuzione spaziale di trasmissibilità del guanto che è risultata uniforme per i diversi soggetti e ha posto in evidenza il limite imposto dalla ISO 10819 nel definire con un solo valore la trasmissibilità del guanto. La norma infatti non permette di caratterizzare localmente il comportamento del guanto; valori entro i limiti della norma potrebbero comprendere - come evidenziato dai dati riportati in questo studio - regioni della mano dove si ha un effetto locale di amplificazione delle vibrazioni che in un guanto anti-vibrazioni, generalmente utilizzato come DPI (dispositivi di protezione individuale), non è un effetto desiderato.

5 – RINGRAZIAMENTI

L'attività è stata finanziata dall'Università Politecnica delle Marche di Ancona.

Il presente lavoro è stato già presentato in occasione del 26° Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII).

6 – BIBLIOGRAFIA

- Griffin MJ. *Handbook of human vibration*, Academic Press, London, 1990.
- Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni), nella GUCE L. 177 del 6.7.2002.
- D.Lgs. 19/08/05 n° 187 Attuazione della direttiva 2002/44/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche. (GU n. 220 del 21/09/05).
- ISO 10819 (1996) Mechanical vibration and shock-hand-arm vibration- method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand, ISO, Geneva, Switzerland
- L. Scalise, F. Rossetti and N Paone. Hand vibration: non-contact measurement of local transmissibility. *Int Archives of Occup and Env Health*, April 5, 2007.
- Hewitt S., Assessing the performance of Anti-vibration gloves – A possible alternative to ISO 10819, 1996 (1998)
- Dong, R.G., Rakheja, S., Smutz, W.P., Schopper, A., Welcome, D., Wu, J.Z., Effectiveness of a new method (TEAT) to assess vibration transmissibility of gloves. (2002).