Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

バイオメカニズム学会誌, Vol. 8, No. 3 (1984)

解　説

局所振動と健康障害

桜井忠義*

1. はじめに

局所振動による健康障害の報告は日本では昭和13年村越による「圧搾空気使用機に因る身体的障害に就いて[1]」に始まる。路面コンクリート斫工の健康被害を観察したものである。本疾病は「倦怠、不眠、筋肉の凝り」の症状により起こり始め、主要症候として「手の血管運動障害、神経衰弱様障害、上肢の関節障害、上肢の筋障害、上肢の知覚障害」が起こるとしている。昭和22年には、労働基準法に於ける業務上疾病の範囲の中で「さく岩機鋲打機等の使用により身体に著しき振動を与える業務に因る神経炎、その他の疾病」として職業病の一つとして明記されるに至った。

しかし、具体的に振動病の存在が知られるようになったのは、林業へのチエンソー導入(昭和29年)後である。チェンソーから発生する振動の特性とその作業が戸外作業であることから、林業従事者にみられた障害は白指発作を中心とする末梢循環障害を主徴としており、これに他の症状が随伴していた。[2]この症状の進行は圧搾空気式工具の振動による健康被害とは少し病態が異るようにみえたが、重症者が出始めると同じような主要症候を持つ例が増えてきた。局所振動による末梢の症状群が比較的独立しており、作業条件により病状群の進行が異っていると考えられた。

欧米では振動による骨・関節系の障害と、振動による末梢循環障害は分離して考えているが、[3]実際的には疾病概念を明らかにして振動による障害として抱括的に考えたがよいようである。

2. 局所振動とは

一般に振動といえば物理的な量が周期的に値を変える現象をいう。振動はその物理的特性として大きさ、方向、周波数、位相をもつ。ここでいう局所振動とは、人が振動に暴露される条件として、振動する物体(主として機械・工具)が身体の特定の部分(主として手腕系)に加わって伝達されることをいう。人の手腕系は伝達される振動の周波数が主として6Hzから1500Hz の間で振動として知覚されうる。[4] 6Hz以下では手全体の揺れ、1500Hz 以上では手の皮膚で振動が減衰されて振動として殆んど知覚されない。6Hz以下、1500Hz以上の振動は、いわゆる腕手に分布する振動受容器の知覚範囲外にあるといえる。位相の差は人体では殆んど感知されない。従って局所振動とは、6Hz～1500Hzの周波数帯域で、ある一定以上の大きさを持つ振動が、人体の特定部分に伝達されるものをいう。

局所振動は様々な形で労働生活、日常生活の中に入り込んで人体との接触機会を増加させている。振動工具・振動機械が局所振動の発生源である。この動力源としては圧搾空気、内燃機関、電力等がある。動力源により振動は様々な異った感覚を人に与える。いくつかの振動工具・機械の振動測定分析結果を図1に示した。圧搾空気を動力源とするものは高出力であるので、削岩機やチッピングハンマー等に利用される。弁(たがね)開閉時の振動周波数は低いが、岩や金属の打撃を行うので高い周波数にも成分を有する。低い周波数(30～60 Hz)に大きい振幅を有するのが特徴である。

内燃機関を動力源とするものは動力源が小さく、工具と一体化しうるので、動力源とともに容易にどこへでも運び使用できる。それで作業移動範囲の大きいチエンソー、草刈機等の動力源として利用されている。内燃機関はトルクが大きい80～200 Hzのピストン回転で使用されるので、この周波数帯域の振動が主成分となる。これに工具・材料との接触による振動が加わる。電動式のものは、モーターをその動力源とするので、回転は滑らかで、工具と材料の接触による振動が主成分となる。

3. 局所振動による生体影響

振動による生体影響は、まずその入力の仕方により分類することができる。

昭和59年5月7日受付
* 久留米大学医学部 環境衛生学教室
〒830 久留米市旭町67

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

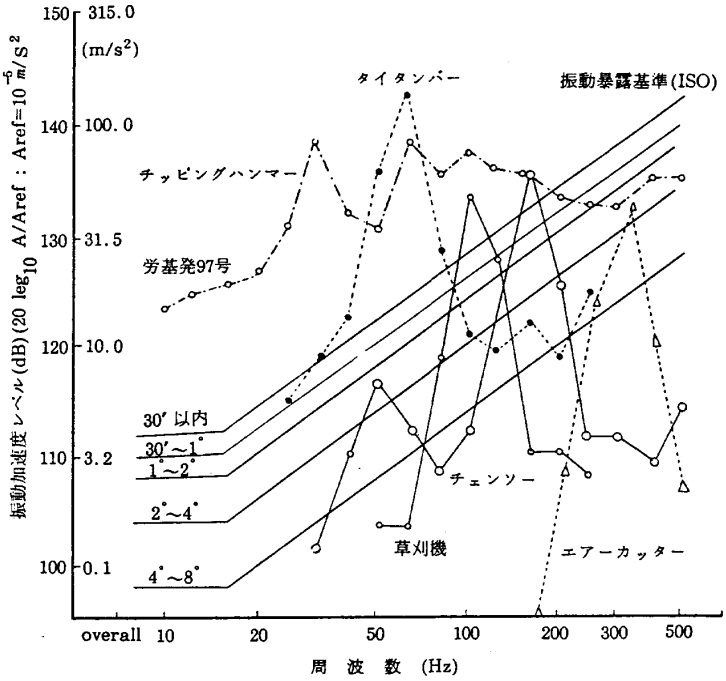


図1　各種振動工具の振動周波数分析（櫻井）

振動の種類	部　　位	障害器官
直接振動	振動入力部位(手)	末梢血管感覚受容器
伝達振動	振動伝達部位(上肢)	関節・骨・筋肉・神経
振動情報の処理	振動情報処理部位(中枢神経)	自律神経系

局所振動と直接に接する部位、主として手掌では感覚受容器に先ず影響が現われる。急性に暴露されると、暴露が終った後に手の感覚閾値が上昇し、特に振動感覚（触・圧覚）の鈍麻が起こる。手掌には熱い感じやじりじりとした感じが広がる。毎日長期に暴露を受けると振動覚のみでなく、温冷覚、痛覚にも異常が起こり、知覚の鈍麻が起こる。振動の直接的な機械的刺激による受容器の退行性変性が起こるためと考えられる。

手の末梢血管には中膜（筋層）の肥厚が起こり、血管壁のノルアドレナリンに対する感受性が高まる。[5] 管腔が細くなり、外来刺激による過敏性が高まってくる。

振動が手から上肢まで伝わる場合は、関節や隣接する器官に障害を与える。関節では、関節包の硬化、骨端の変性が起こる。いわゆる変形性関節症の状態を呈する。[6] 肘関節、手関節、指関節に多く起こる。筋肉付着部の腱の石灰化もよくみられる。肘関節の変形に伴い、肘の後内側部、尺骨神経溝を通る尺骨神経の神経鞘に変性が起こることもみられる。

手の感覚受容器から入った振動情報は、振動感覚として脊髄後索を通り大脳へ伝えられる。大きく強い振動が入力されると、自律神経の興奮性が高まり交感神経優位の状態[7]となる。

局所振動による健康被害は、振動が人体へ入力される形状により異るため振動の物理的特性や作業姿勢、方法、環境要因により修飾され、異った形をとる。振動の物理的特性をみると、周波数では低い周波数の振動(6～60Hz)は、あまり減衰されずに手から腕、肘、肩、首と身体の中枢部まで骨や関節を通して伝わるが、周波数が高くなる(60～250Hz)につれて、関節での減衰が大きくなる。更に高い周波数(250～1500Hz)となると、振動は手掌の皮膚・軟組織に吸収・減衰され、上肢に伝わり難くなる。[8] 周波数別の軟組織・関節での減衰率は振動のある一定の大きさの範囲では、ほぼ一定の関係を有する。いわゆる質量(m)、抵抗(c)、弾性(k)を有する物理系とみることができる。[8]

従って、低い周波数に主成分を有する振動は主

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

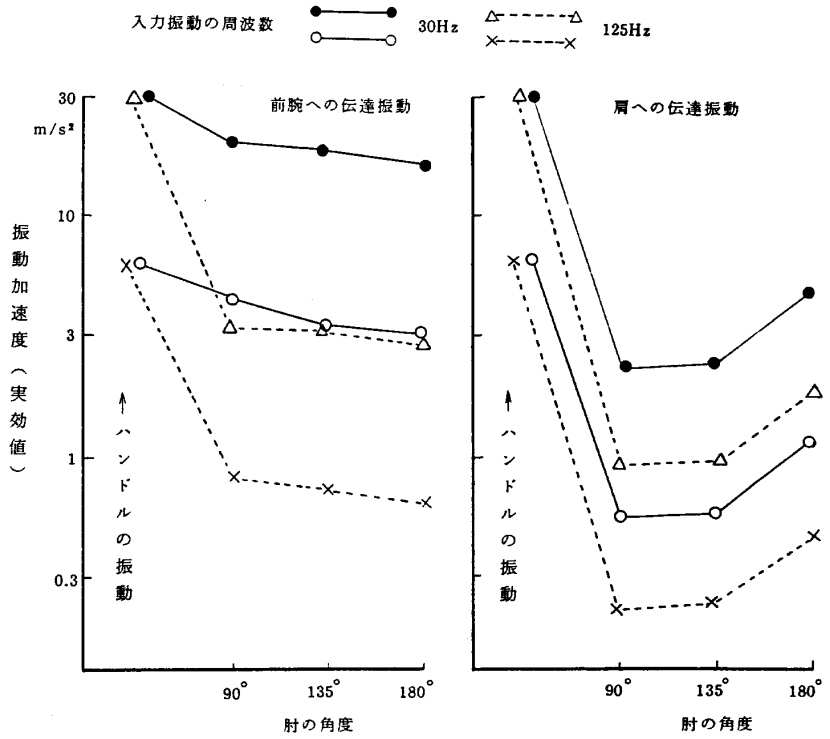


図2　手から入力された振動による前腕・肩の振動
(ハンドル把持力・ハンドル押力は測定し一定とした。)

表1　工具振動と主要症状有症率

労働者群	使用工具	工具振動の大きさ (m/s²)	主成分 (Hz)	白指発作 (%)	手指のしびれ (%)	肘関節痛手 (%)
林業従事者	チエンソー（内燃機関）	25～200	100～160	42.9	46.4	17.0
道路補修員	草刈機（内燃機関）	9～71	63～125	1.7	15.6	1.8
石材工夫	チッピングハンマー（圧搾空気）	224～794	30～1000	42.0	66.0	34.3
トンネル工夫	ピックハンマー（圧搾空気）	28～631	30～1000	35.1	78.4	36.2
線路工夫	タイタンパー（電動）	112～141	40～50	0.7	27.9	54.5

注)　症状調査は10年以上の使用群について

として関節や骨の障害を起こし、中くらいの周波数の振動では末梢器官と骨・関節に影響し、高い周波数の振動は末梢器官への影響が大きいといえる。ストレッサーとしての振動は、振動発生時に起こる騒音とともに全周波数域について影響を有する。

次に作業姿勢等の影響をみてみる。肢位により介達する振動の大きさが異る。例えば、肘を伸ばした状態で振動を受けると、肘を曲げて受ける場合より肩へ伝わる振動が大きくなる(図2)。前腕と直角な方向で手に振動が加わる場合と、前腕の方向に振動が入る場合は、肘への介達振動の大きさが異ってくる。

工具の材料への押圧力が強いと、手と工具の密着度が増し、伝達する振動は大きくなる。重量の増加は手持工具の場合は、その重量を支えるために手の把持力が増加し、かつ筋収縮が増加するので、上肢系が硬度を増し、振動が上肢へ伝わり易くなる。

振動とともに発生する騒音、排気ガス、戸外作業等の寒冷暴露は振動とともに身体にストレスを生じさせ、自律神経系への影響力を高める。

従って局所振動による健康障害は、主因の振動

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

表2 Andreeva Galanina の病期分類と自覚症状の平均有訴数

作業分類 / A.G分類 / 自覚症状分類	石工 0	石工 I	石工 IIa	石工 IIb	石工 III	林業 0	林業 I	林業 IIa	林業 IIb	林業 III	事務
末梢循環機能低下(6項目)	0.2	1.7	2.4	3.6	4.1	1.1	2.1	1.1	4.0	5.3	1.0
末梢知覚鈍麻(6項目)	0.2	0.4	1.2	1.4	1.7	0.2	0.6	1.0	2.5	5.0	0.2
末梢運動機能低下(6項目)	0.0	1.1	1.8	2.2	2.6	0.4	0.9	1.7	2.6	3.7	0.4
骨・関節系の異状(6項目)	0.8	1.7	2.9	3.7	3.8	0.8	1.6	2.5	4.0	5.7	1.1
中枢神経系の異状(6項目)	0.4	1.9	2.4	2.6	3.5	1.4	1.7	2.7	4.0	4.3	1.8
全身的症状(10項目)	2.6	3.8	4.9	5.7	6.6	3.5	4.2	4.7	6.8	8.3	4.1
総計	4.2	10.6	15.5	19.0	22.2	7.4	11.1	15.7	24.9	32.3	8.6

の物理的特性に騒音、寒冷、作業姿勢、作業方法等の副因により、その病像を変化させる。

実際の作業では作業者は振動だけでなく、上記の様々な要因が組み合わされて暴露を受けている。それら要因を単純に浮かび上がらせることは困難である。これを念頭において10年以上工具を使用している群について、その使用工具の振動の大きさ、周波数を測定分析し、労働群別に白指発作、手指のしびれ、関節痛をみると、いくつかの特徴を見出すことができる(表1)。

大まかにみると、ほぼ同じ周波数に主成分を持つ工具使用者群間では、大きい振動を有する工具使用者に症状が強く、かつ愁訴率が高い。周波数帯域の異なる群では低周波数に主成分がある工具使用群は関節の痛み、手指のしびれの愁訴が多く、中くらいの周波数に主成分を有する工具使用群は白指発作、手指のしびれの愁訴が多い。全ての周波数に成分を有する工具は、これらの全症状群についての愁訴が高い。しかし、ただ単純にこれら症状を比較することはできず、使用時間や付帯作業、その他の作業、例えば拘束作業、重量物運搬作業、重筋作業等により各症状が影響を受けていることを見逃してはいけない。

4. 健康障害の病態と病像

末梢循環障害と末梢神経障害、骨・関節系の障害、自律神経系の反応等は比較的独立して現われている。従って、局所振動による生体影響については振動の入力方法によって分類しうると考えられる。この中で末梢神経の障害は、振動の機械的刺激による一次性のものと、末梢循環障害に伴う二次性の障害がみられる。末梢循環障害は自律神経系の反応と密接で、特徴的症状とされるレイノー現象も自律神経系の関与なしには考えられない。又、暴露期間が長く重篤となってくると、比較的独立して発現する各症状が障害者に集中して現われてくる。振動工具使用者の症状を因子分析すると、6群の症状群に分類できる。これら症状群の発現は末梢器官より初まり、これに中枢神経系の症状が合併してくる経過をとる(表2)。

a. 末梢循環障害

手に起こる循環障害は、中枢性の支配を受けており、末梢循環障害は中枢性の変化と切り離しては考えられない。特徴的な症状として、手の冷え、チアノーゼ、レイノー現象、夜間の腕のしびれ痛み等がある。障害者では寒冷等で強いストレスが身体に生ずると、レイノー現象が出現する。重篤な場合、レイノー現象は身体の冷えだけでなく、騒音、心配事等のストレスで発症することがある。

障害者は普段から手が冷たいことが多く、手の皮膚温が低く、サーモグラフ等で冷たい指が欠落してみえる。[9] 血管造影で指血管が一部細くなり、

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

表3　使用開始年令及び使用年数別の Raynaud 現象の発現数（石工）

有症率 (%)	33.3	45.2	66.6	63.6	48.1
11年1カ月以上		○○ ×	○○○		83.3
11 年 以 下	○○○○ ××××× ××	○○○○○ ○○○○ ××××× ×××	○○○○○ ○ ×	○○○ ××	55.0
9 年 以 下	○○○ ××××× ××	○○○○○ ○○○○○ ××××× ××××× ×	○○○○○ ××××	○	46.3
7 年 以 下	○○ ×	○○○○○ ○ ××××× ××××× ××	○○○○ ××××	○○ ×	43.8
5 年 以 下	×××	○ ×	○○ ××××	○	33.3
3 年 以 下		×		×	0
使用年数 / 使用開始年令層	～29才	～39才	～49才	50才以上	有症率(%)

○ あり　× なし

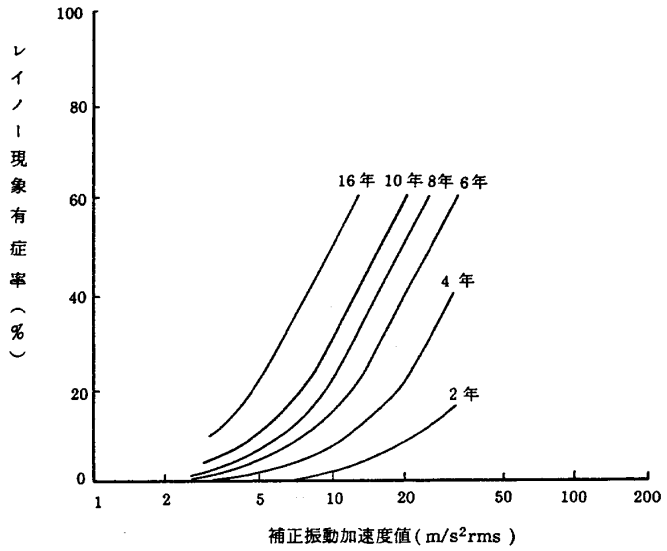


図3　工具使用年数と有症率・工具振動

副血行路により血流が確保されている像がみられたりする。[10] 剖検例では、血管中膜筋層の肥厚がみられている。[11] 指爪毛細管像をみると、正常者ではヘアピン状を呈するが、障害者では蹄型に捻転がみられ、ひどい場合は動静脈脚が十分にみられない。[12] カテコールアミンに対する血管壁の感受性の亢進がみられ、[5] ストレス時に交感神経より遊出されたノルアドレナリンによりレイノー現象発症が促進されると云われている。又、血液粘性が高まったり、赤血球の抵抗の変化が、レイ

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

表4 障害部位と主な症状

障害部位		主要症状	検査
接触部位	末梢循環障害：	手指の冷え チアノーゼ レイノー現象 就寝時の腕のしびれ等	皮膚温（負荷） 爪圧迫　血液検査 容積脈波　（粘性　免疫グロブリン サーモグラフ　カテコールアミン 血管造影　等　血小板凝集能　等）
	末梢神経障害：	手指のしびれ 感覚鈍麻 異常知覚　等	感覚検査 神経伝導速度 体性感覚誘発電位　等
伝達部位	運動器障害：	筋痛・腕のだるさ 筋圧痛・筋硬結 筋萎縮・手指のふるえ等	筋電図 指の巧緻性 筋力　等
	骨・関節障害： 尺骨神経麻痺	関節痛・関節膨隆 関節運動制限 筋萎縮　等	X−P 関節造影 運動域検査　等
情報処理部	自律神経系興奮：	手掌発汗増多 もの忘れ いらいら 頭痛 頭重　等	発汗量測定 脳波 心電図 音負荷脈波 内分泌検査　等

ノー現象の発現を促進するという報告もある。冷水負荷試験で、健康人に比べ、前皮膚温や水中下皮膚温が低く、水中での反跳現象がみられない。又、水中より上げた後の皮膚温回復が大きく遅延する。[13] 障害は使用年数の長い者に多く、使用工具の振動が大きい群に早く発症し、有症率も高くなる（表3）。　レイノー現象の有症率には量−反応関係がみられている（図3）。

b. 末梢神経障害

振動が直接に暴露される部位の感覚鈍麻や異常知覚として始まる。手指のしびれ、知覚鈍麻が訴えられる。症状は次第に強くなり、指腹のみでなく、指背、手掌、手背、前腕へ拡大し多発神経炎型の手袋状知覚鈍麻となる。[14] 神経伝導速度、[15] 体性感覚誘発電位[16] では末梢優位の障害がみられ、特に指〜手間の知覚繊維の異常が強い。手指のしびれについての有症率も量・反応関係がみられるが、高齢になって使用し始めた群に症状発現が早くみられる。異常知覚としてのしびれ、痛みが増すと夜の就眠、熟眠が阻害される。

c. 運動器障害

前腕筋群の筋力が低下し、巧緻性が悪くなる。ボタンがはめられない、細かい手仕事ができない、箸が使い難くなった、腕がだるい、工具を長く持てなくなった等の訴えがみられる。筋電図では complex NMU が随意収縮時に出現している[14] ことなどから脊髄前角細胞等の変性があるかもしれない。上腕二頭筋、前腕筋群、母指球筋、小指球筋、骨間筋等に萎縮がみられることがある。

d. 骨・関節系障害

振動は骨に伝わると減衰されずに他端へ伝わる。関節では振動が減衰されて、次の骨へ伝達される。従って関節を形成する器官に障害が起こる。関節の痛み、運動時の痛みがみられる。障害が強くなると可動域の制限などが起こり、関節の膨脹が触知される。X—P では関節包の一部石灰化、関節腔隙の挟搾、骨端の不揃、陰影増強、骨棘がみられ、又、一部筋・腱の石灰化がみられ、骨性の可動域制限が読み取れる。肘関節に変性が生じると、肘の後内側尺骨の尺骨神経溝を通る尺骨神経は、

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

この部分の石灰化により神経の脱臼をおこしやすくなり、かつ肘で伸展され、肘で振動する尺骨により叩打されて神経鞘が肥厚し、遅発性の尺骨神経麻痺(低位麻痺)を起こすことがある。尺骨神経は肘部で鉛筆の様に大きく触知される。この場合、神経伝導速度を測定すると肘部(上腕－前腕)で低下する。多くは前腕から手指にかけての伝導速度にも低下がみられる。運動枝、知覚枝ともに影響を受ける。手の骨間筋、小指球筋が萎縮して、尺骨神経麻痺特有の鷲爪手となる。手指は開・閉扇運動ができなくなる。知覚枝の障害で、第4指の尺側部と第5指に知覚麻痺がみられる。

e. 中枢神経系の反応(障害)

振動、騒音、作業緊張、寒冷等によりストレスを起こした中枢神経系には一般に不定愁訴といわれる症状が現われる。但し、一般にいう不定愁訴と異なり、末梢症状が強くなってから中枢神経系の症状が合併してくることが多い。頭痛、頭重、いらいら感、もの忘れ、耳鳴、手掌発汗増多、睡眠障害などの症状がみられる。これら症状は交感神経中枢の興奮に伴う症状に類似する。睡眠障害には手指の疼痛、耳鳴、不安によるものがみられる。報告によると脳内循環の障害がみられることがあるようである。[17] 重篤な者では脳波上に徐波化[18]や25～30Hzの紡錘状速波[7]がみられている。指尖容積脈波では、波高の平低下がみられ、音負荷により被検指の脈波の反応が悪く、かつ波高の回復が遅れる、いわゆる交感神経緊張型を呈する例が多い。[18] 手掌発汗は交感神経のアドレナリン作動性繊維の支配を受けて分泌されるので、その増多は交感神経の機能亢進として把握される。内分泌系の所見として甲状腺機能亢進，IgA，IgMの増加がみられる例がある。現在までのところ、振動による中枢神経性の器質的障害については諸説があり、結論づけられていないが、振動障害形成の過程で、中枢神経系の反応が関与していることは異論のないところである。表4に障害部位と主な症状、主な検査を一括して表とした。

5. まとめ

局所振動による健康障害は、日本の最初の報告でも病状は克明に記載されていたが、その病態についてはまだ十分に明らかにされていないのが現状である。諸説があるが振動障害患者の症状解析により症候群が6群に分類できる。末梢循環症状、末梢神経症状、運動器症状、骨・関節系症状、中枢神経系症状、全身性の症状がみられる。これら症状の中には振動のみでなく、労働そのものによる症状が含まれる。実作業の中から振動による影響を抽出することは困難で実際的ではない。作業にみられる健康障害因子の関連を見出すことが必要と考えられる。これら症状群は比較的に独立して現われる。これは病態が振動の入力の仕方によって異なって現われてくることが示唆される。即ち、接触振動、骨への伝達振動、振動情報により、身体各部位が影響を受ける。この考えに立って主因の振動と副因となる労働に随伴する因子の役割が整理できる。従って病像は作業手法の異なる労働群では異なった発症の形態をとってくる。局所振動による健康障害の対策は振動のみでなく、作業環境条件を十分に把握して行うことが必要である。

文献

1) 村越久男：圧搾空気使用機に因る身体的障害に就いて，臨床医学，26(4), 506–508(1938)
2) 山田信也：山林労働と白ろう病，人災と健康，1967.
3) 櫻井忠義：ヨーロッパの振動障害(1)，労働の科学，37(8), 44–49(1982)
4) Miwa, T.: Evaluation methods for vibration effects, Part 6, Measurement of unpleasant and tolerance limit levels for sinusoidal vibration, Ind. Health, 6, 19–27(1968)
5) 東 健彦，他：振動刺激負荷による循環障害の発現機序，日本生理学誌，40(8・9), 323(1978)
6) 根岸龍雄，他：鉱山における振動障害，労働の科学，20(12), 10－15(1965)
7) 的場恒孝，他：振動病の病態生理学的研究，産業医学，17(1), 11 18(1975)
8) Reynolds, D. D.: Hand-arm vibration, A review of 3 years' research, Proceedings of the International Occupational Hand-Arm Vibration Conference, 99–128(1977)
9) 渡部真也，他：振動作業者の手のサーモグラフィーによる観察 産業医学，16(4), 411(1974)
10) 黒瀬真之輔，他：いわゆる白ろう病のX線による手指血管造影像，日災害医誌，25(8), 416－424 (1977)

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

11) Agate, W. F. et al.: Raynaud's phenomenon of occupational origin, Arch. Environ. Health, 5, 333–343(1962)
12) 楠本尚夫：振動病患者の指爪床毛細血管像に関する研究，久留米医会誌，38, 563 (1975)
13) Chang, C.：Cold water immersion test in patients with vibration disease, 産業医学, 18(5), 453–463(1976)
14) 山田信也：チエンソーの振動による白ろう病，労働の科学，20(12), 20–26(1965)
15) 久永　孟：振動工具使用者の末梢神経伝導速度に関する研究，産業医学，24(3), 284–293(1982)
16) 太田義隆，他：振動障害患者における知覚障害の客観的検索法，機械的刺激による体性感覚誘発電位を用いて，産業医学，21(5), 433–441(1979)
17) 伊藤史子：局所振動暴露による脳循環系への影響，impedance plethysmography の脳循環測定への応用，十全医学会雑誌，87(1), 5–10(1978)
18) 二塚　信，他：振動工具使用労働者の脳波，臨床脳波，16(11), 690–694(1974)
19) Matoba, T. et al.: Digital plethysmographic responses to auditory stimuli in patients with vibration disease, Tohoku J. Exp. Med., 115, 385–392(1975)

NII-Electronic Library Service