

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目： 若手研究 (B)
 研究期間： 2007~2008
 課題番号： 19700530
 研究課題名 (和文) 剣道難聴発生のメカニズム解明と新機能防具の開発
 研究課題名 (英文) Mechanism of the hearing loss in Kendo players and development of a new protector
 研究代表者
 濱西 伸治 (HAMANISHI SHINJI)
 宮城工業高等専門学校・機械工学科・准教授
 研究者番号： 00374968

研究成果の概要：まず、ヒトから計測可能な三種類の聴覚由来の生体反応を剣道の練習前後で測定した。その結果、DPOAE レベルは剣道の練習前後では有意な変化は見られなかった一方で、剣道の練習は、感覚細胞よりも脳の中核により大きな影響を及ぼしていることが示唆された。また、FEM 解析ソフトを用いて、面の打突部に打撃を与えたときの応力分布を解析した。その結果、打撃によって耳部よりも、頭頂部でのダメージが大きくなることが示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,400,000	0	2,400,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	270,000	3,570,000

研究分野：生体工学

科研費の分科・細目：(分科)健康・スポーツ科学 (細目)スポーツ科学

キーワード：剣道、難聴、聴力検査、聴性脳幹反応、耳音響放射、有限要素法、衝撃力

1. 研究開始当初の背景

日本古来の武道である剣道は、今日、老若男女を問わず、数百万人に及ぶ幅広い年齢層の愛好家があり、さらに、学校教育現場においては体育の授業の一部として行われるなど、広く普及している。しかし、剣道愛好者の中には、長年にわたり、面を打たれた時の衝撃、竹刀と竹刀が打ちあう音、道場内に響く大きな掛け声などによって聴覚器官に影響を与えた結果、難聴患者(剣道難聴)が多いと言われ、その人数は把握できていないのが現状である。また、剣道難聴の症例に関する報告はいくつかなされているが、(堀山ら、1988、および、山川ら、1995) 剣道難聴発生のメカニズムは、未だに明らかになっていない。

さらに、剣道難聴は従来から、ヒト聴覚器官に及ぼす影響が警告されているにもかかわらず、「伝統」という口実の下に、一部で耳栓をするなどの簡単な処置が取られているだけで、実際には剣道難聴に対し何の予防策も行われておらず、小さい年齢から剣道に打ち込んできた子供達が、後年になって初めて難聴を自覚し、日常生活に少なからず影響を及ぼしているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、まず、第一段階として、剣道難聴者の実態を把握するため、剣道難聴に関する全国規模の調査を行う。第二段階として、剣道において、特に激しい衝撃が加わる、面の打突部(図)に着目し、この部分への打撃

が、聴覚器官のどの部分にダメージを与え、剣道難聴の起因となっているのかを実験・理論の両面から解明することを試みる。

さらに、上記で明らかになった剣道難聴発生のメカニズムから、剣道難聴を予防するための新機能防具の開発を試みる。

3. 研究の方法

(1) 生体計測による剣道難聴発生メカニズムの解明

本研究では、長時間剣道を行ったことによって、聴覚器官のどの部分にダメージを与えているか調べるため、聴覚器官から計測可能な3種類の生体計測方法を用いて、一定時間の剣道の練習前後での計測結果を比較した。

①オーディオグラム(Audiogram)

一般的な聴力検査として使用されるものであり、オーディオメーターを用いて、各周波数で被験者が聞くことのできる最も小さな音(閾値)を計測する検査である。閾値が高いほど、難聴の程度が大きいことを表している。

市販のオーディオメーター(Rion, AA-79)を使用して、図1(a)に示すように、被験者の両耳にヘッドホンから周波数125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000Hzの周波数の純音をそれぞれ与え、通常の聴力検査と同様に、聞こえ始めた時点で被験者にスイッチを押してもらうことで閾値を計測した。計測時間は5分程度である。計測は下記で述べるDPOAE, ABRの計測と同様に、一時間半程度の剣道の練習前後で実施した。

②耳音響放射 (Otoacoustic Emission : OAE)

人が音を聞く通常と逆の経路を辿って、外耳道に音として放出される現象である。OAEには音刺激の方法により様々な種類があり、そのうち、外部から周波数 f_1 と f_2 の刺激音を同時に与えたとき、 $2f_1-f_2$ という規則性のある周波数の音が検出されるものを歪成分耳音響放射 (Distortion Product Otoacoustic Emission: DPOAE) という。DPOAEは健聴者であれば誰でも検出することができる。DPOAEの発生源は蝸牛内にある感覚細胞(外有毛細胞)と考えられているため、DPOAEを比較することで、感覚細胞の機能を評価することができる。

DPOAE計測装置は図1(b)に示すように、2つのイヤホンと1つのマイクロホンが内蔵されたプローブ(Etymotic Research, ER-10C)と、本研究室で独自に開発したLabview (National Instruments, Ver.8)を用いたDPOAE計測プログラムによって構成される。

DPOAEを計測するためには刺激音圧を一定にする必要があるが、イヤホンは一定電圧で駆動させた場合、音圧が一定にはならない。そこでまず、被験者の耳にプローブを入れた状態で鼓膜面での刺激音圧が $P_1=80$ dB SPL, $P_2=70$ dB SPL で一定となるようにあらかじめ

め駆動電圧を校正した。

その後、刺激音周波数 f_1 , f_2 を周波数比 $f_2/f_1=1.20$ の条件下で同時に与えた。 f_1 を3200-10400Hzで変化させた時にマイクロホンで収集した音をA/Dボード(National Instruments, PCI-6251)で電気信号に変換し、DPOAE計測プログラムにより $2f_1-f_2$ の信号成分のみを抽出した。イヤホンの校正を含めた計測時間は5分程度である。

③聴性脳幹反応 (Auditory Brainstem Response : ABR)

外部から音刺激を与えたときに、聴神経から脳幹に至る神経の発火により、頭部に貼り付けた電極から計測される微小電位である。通常、音刺激から10ms以内に通常5つのピークが出現する。ピークの発生源は聴神経から下丘に及ぶ脳幹の各部位であり、ピークの間隔やピークの消失などの現象をとらえることにより、神経および脳幹の異常を検査できる。

計測には聴覚誘発電位計測装置(Nihon Kodenshi, MEB-9102)を用いた。

図1(c)に示すように、計測前に被験者の頭部4か所(つむじ, 額, 両耳の裏)に皿電極を貼り付けた。その際皮膚に直接電極を貼り付けた場合、計測時のインピーダンスが高く、ノイズが混入するので、まずスクラブを電極に貼り付ける部位に塗って角質や汚れを落とす。その後、インピーダンスを整合するためのペーストを介して、皿電極を貼り付けた。次に被験者の両耳にヘッドホンからそれぞれ90, 80, 70dB SPLのクリック音を与え、各音圧での応答を練習前後で計測した。電極の貼付を含む計測時間は10分程度である。

なお、これら3種類の計測は本校の剣道部、延べ9人(男子:9人, 剣道経験年数:8ヶ月-7年)を被験者として行った。また、これらの計測は本校の「人間を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認の下で行った。

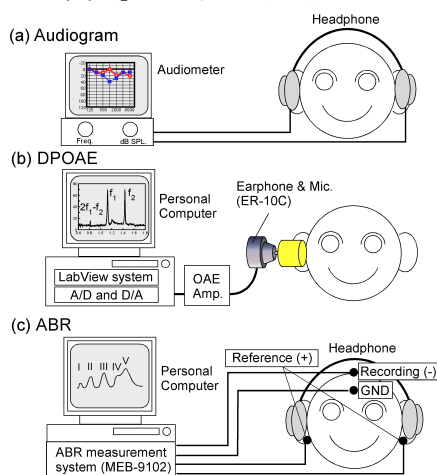


図1 Experimental set up for measuring three auditory responses from the ear. (a) Audiogram. (b) DPOAE. (c) ABR.

(2) 有限要素法面防具モデルを用いた衝撃力解析

①モデル化

汎用の3次元CADソフトであるSolid works (ソリッドワークス・ジャパン株式会社)を用いて、面防具モデルを作成した。モデルは、実際の面に使用されている部品の寸法を測りながら部品図を作成し、それらを組み合わせて作成した。面布団の物性値は、実際に面布団の圧縮試験を行うことで求めた、ヤング率 6.76 MPa, 密度 392 kg/m³, ポアソン比 0.3 を用いた。面金の物性値は、一般的なチタン合金の物性値である、ヤング率 110 GPa, 密度 4510 kg/m³, ポアソン比 0.32 とした。

②シミュレーション

有限要素法を用いた解析は、汎用シミュレーションソフトであるAbaqus6.7を用いた。モデルは3次元汎用一般シェル要素とし、6自由度(x, y, z方向の変位成分とそれらの回転成分)を使用する。メッシュ化したモデルを図2に示す。4節点4辺形応力/変位シェル要素を用いたメッシュ分割をし、総要素数は73382, 総節点数は73336である。荷重は打突部の正面(図2①)と、斜めの位置(図2②)にそれぞれ100 N⁽¹⁾ずつ加えるものとし、荷重を加え始めてから2.0秒間、面内の応力分布をシミュレーションした。このとき、打撃の与え方は、0.1秒まで、荷重を100 Nまで線形に増加させた後、0.2秒まで線形に荷重0まで減少させた。その後、2.0秒まで荷重は与えないものとした。これらを、点線で示した打突部に緩衝材を用いた場合と緩衝材を用いない場合において、図3に示す各位置でのミーゼス応力を解析した。緩衝材としては、 α ゲル(株式会社geltec)を用いることを想定し、ヤング率150.7 kPa, 密度560 kg/m³, ポアソン比0.3とした。本モデルではヒトの頭部のモデルを含んでいないため、境界条件は、面布団の両端のy方向の変位と回転を固定し、さらに、白丸で示した面布団の両端後部を完全固定とした。

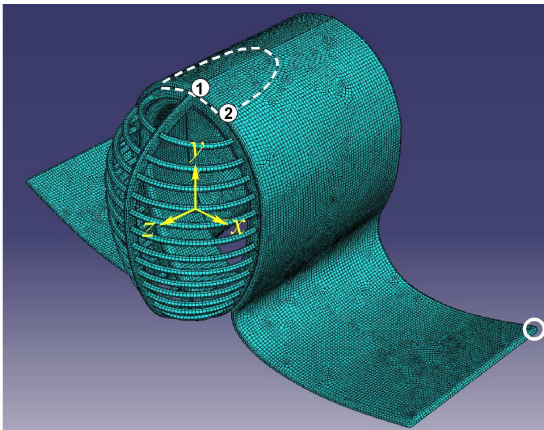


図2 FEM model of a Kendo protector.

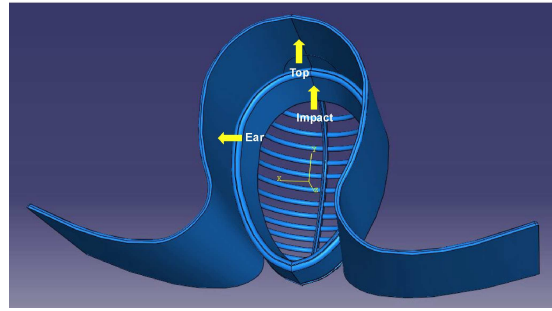


図3 Analysis point of the Mises stress.

4. 研究成果

(1) 生体計測による剣道難聴発生メカニズムの解明

練習前後でのオーゾグラムとDPOAEの結果をまとめたものを図4に示す。計測結果から、剣道の練習により聴力は全体的に上昇したが、DPOAEのレベルはほとんど変化しなかった。このことから、1000Hz以上の領域では、聴力の変化と感覚細胞の機能の変化には相関性が無いことが示唆された。また、周波数500Hzにおいてオーゾグラムが4.16dBと大きく上昇している。これは剣道防具の面布団への打ち込み音や、打ち込みの際に発するかけ声の周波数が500-800Hzであることから、練習によりこれらの周波数では聴覚が敏感になっていると考えられる。

なお、1000Hz以下についてのDPOAEはノイズが大きく、測定が困難なため聴力上昇との相関を調べることはできなかった。

ABRの計測結果より、III-IV波間の各被験者の両耳(8耳)の値とそれを平均したものを図5に示す。III-IV波間の反応は両耳ともに遅れる傾向が見られた。このことは、III波とIV波の発生源である上オリーブ核と外側毛帯間に影響があることを示している。

また、80dB SPLにおいて、反応の遅れが目立つ理由としては、通常の会話音のレベルが約60dB SPLであるのに対し、剣道の練習では、常時これより大きな強音環境下で練習を行っている。従って、特定の音圧区域でのダメージが大きかった可能性がある。

以上のことから、剣道の練習では、感覚細胞へのダメージは小さい一方で、より脳の中核により大きなダメージを与えた結果、聴覚機能を一時的に低下させていることが示唆された。

(2) 有限要素法面防具モデルを用いた衝撃力解析

①応力分布について

打突部が布の場合と α ゲルの場合において、打突部正面に100 Nの打撃を与えた場合の頭頂部と耳部における応力の時間変化をそれぞれ図6と図7に示す。頭頂部では、 α ゲル

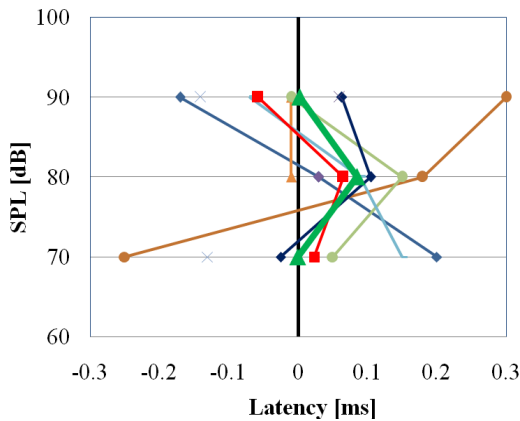


図 4 Comparison between the difference in hearing level and DPOAE.

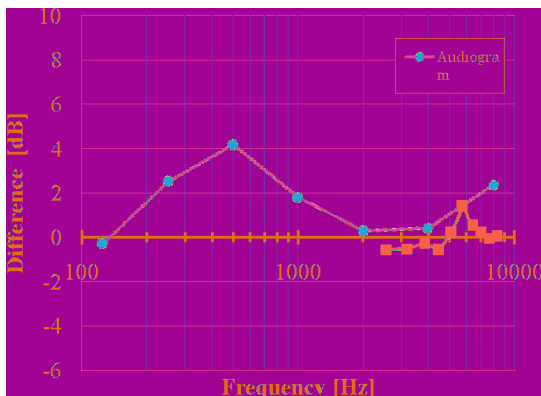


図 5 Difference in peak interval of III - IV between before and after Kendo training (n = 9). Thick line is mean values.

を使用した場合のほうが、布の場合と比べて応力が低かった。しかし、耳部では α ゲルの場合と布の場合に大きな差はみられなかった。このことから、 α ゲルの使用は頭頂部における応力の低減には非常に有効であるが、耳部においては応力の低減にほとんど関与しないことがわかった。

面の斜めの位置に 100 N の衝撃を与えた場合の頭頂部と耳部における応力の時間変化を図 8 と図 9 にそれぞれ示す。頭頂部では、布の場合が最も高い応力値を示したが、打突部が α ゲルの場合も顕著な緩衝効果は見られず、打突部が布の場合に近い応力となっていた。また、耳部では、打突部に α ゲルを用いたほうが、布を用いた場合よりも大きな応力値を示した。面布団全体を α ゲルとした場合の応力は、打突部、耳部ともに大幅に低減した。これらのことから、緩衝材を外れて、斜めの位置から打撃を加えた場合は、打撃力が緩衝材によって緩衝されるのではなく、より応力が伝わりやすい面布団のほうに広がってしまい、結果的に布の場合よりも大きな応力を頭部に受けてしまうことが示唆された。

従って、面の一部に緩衝材を使用しても、打撃が加わる箇所によっては衝撃緩和の効果は無く、むしろ頭部へのダメージが大きくなる場合があることが示唆された。これにより、頭部へのダメージを低減するためには、面の一部だけでなく、全体に緩衝材を使用する必要があるといえる。

②生体計測との比較

シミュレーションの妥当性を検討するために、聴性脳幹反応(ABR)を用いて聴力への影響を調べた結果、”頭部への物理的な打撃”による、神経および脳幹の機能低下は、練習後に大きくなっていった。このことから、剣道の練習によって引き起こされる一時的な聴力損失は、“打撃音”による感覚細胞の機能低下よりも、“頭部への物理的な打撃”そのものによって、脳の中枢に、より大きなダメージを与え、生じることが示唆された。この実験結果は、打撃が耳部に与える影響が少ないというシミュレーション結果と一致している。

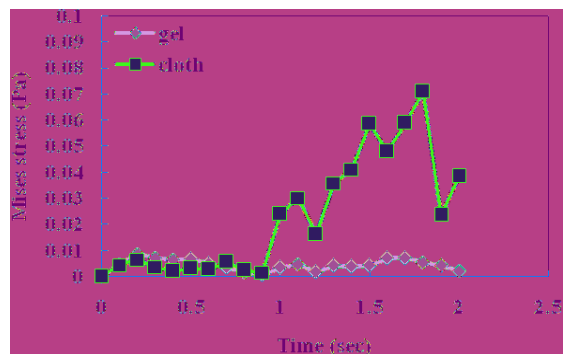


図 6 Mises stress on the top area of the Kendo protector. Impact force was applied to the impact area.

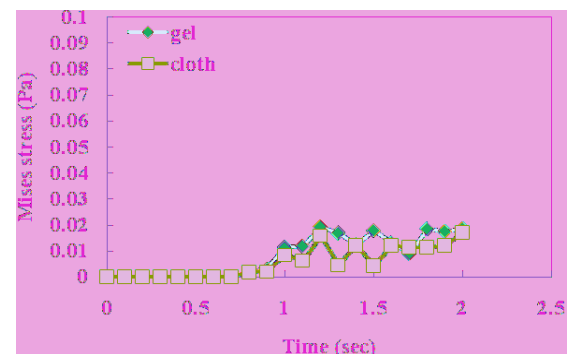


図 7 Mises stress on the ear area of the Kendo protector. Impact force was applied to the impact area.

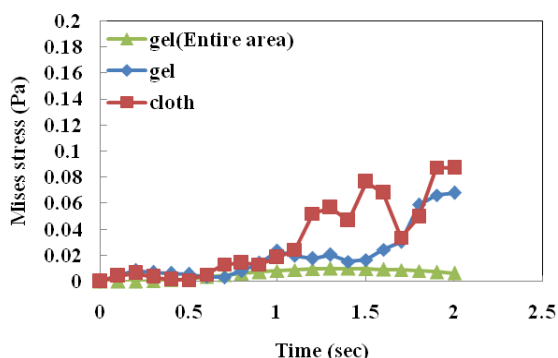


図 8 Mises stress on the top area of the Kendo protector. Impact force was applied to approximately 30 degrees angle of the Kendo protector.

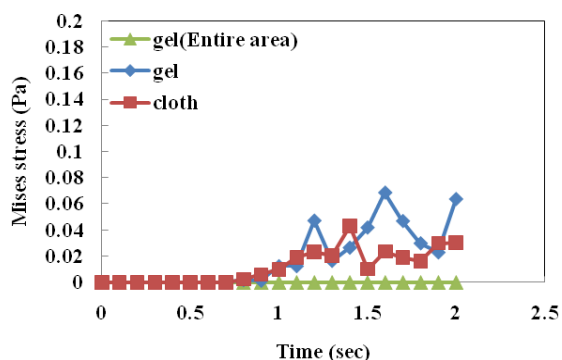


図 9 Mises stress on the ear area of the Kendo protector. Impact force was applied to approximately 30 degrees angle of the Kendo protector.

(3) 結言

- ①聴力は剣道の練習によって上昇した。
- ②剣道の練習前後で DPOAE のレベルは変化しない。
- ③剣道練習後の ABR の反応はⅢ-Ⅳ波間で遅くなる。
- ④剣道の練習は、感覚細胞よりも脳の中枢に大きな影響を及ぼしている。
- ⑤面の打突部正面に打撃を与えた場合、耳部よりも頭頂部のほうがダメージを受ける。
- ⑥緩衝材を面の一部に使用しても、打撃位置によっては衝撃は緩和されず、むしろ緩衝材を使用していない場合よりも頭部へのダメージが大きくなる。
- ⑦聴力低下は打撃音による感覚器官の機能低下ではなく、頭部への打撃によって脳の中枢にダメージが与えられることに起因する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

- ①富田裕也, 濱西伸治, 青木良浩, 和田仁, 有限要素法面防具モデルを用いた衝撃力解析, 日本機械学会東北学生会第 39 回学生員卒業研究発表講演会 2009 年 3 月 6 日, 秋田

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱西 伸治 (HAMANISHI SHINJI)

宮城工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：00374968

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

青木 良浩 (AOKI YOSHIHIRO)

宮城工業高等専門学校・教育研究技術支援室・技術職員

研究者番号：なし

和田 仁 (WADA HIROSHI)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30111264