

博士論文

アメリカンフットボール選手の  
頸椎アライメント変化と動作解析に関する研究

平成11年度

下藤仁士

経済大学

①  
博士論文

アメリカンフットボール選手の  
頸椎アライメント変化と動作解析に関する研究

平成11年度

下條仁士

筑波大学

## 専門用語集

**スポーツ外傷**：一回の大きな外力が身体に作用して引き起こす損傷のことである。たとえば、捻挫、骨折などである。

**スポーツ障害**：繰り返す微少な外力が身体に作用し引き起こされる慢性の損傷のことである。たとえば、疲労骨折などである。

**スポーツ傷害**：上記の両者を一括した総称のことである。

**硬膜下（外）血腫**：頭蓋骨内の硬膜の内側（外側）に出血を生じた外傷をさす。

**変形性頸椎症**：頸椎の加齢現象のことである。

**頸椎損傷**：頸部の骨性の損傷のことである。たとえば、頸椎椎体骨折などである。

**頸髄損傷**：頸部の脊髄損傷のことである。神経麻痺の症状が出現する。

**バーナー症候群**：頸部が屈曲強制されることで、左右どちらかの腕神経叢が損傷を受け、上肢の一時的な麻痺が出現する症候群のことである。

**C1**：第1頸椎の略称。C=Cervicalの略である。同じく、**C2**は第2頸椎のことである。また、**C1/C2**とは第1頸椎と第2頸椎の間のことをしめす。

**“spearing（スピアリング）”**：アメリカンフットボールのタックリング技術で、手を使用せずに頭部からロケットのように相手につっこむことである。危険な反則プレーとされている。

**脊柱管狭窄症**：脊椎中の脊髄の通路である脊柱管が、先天的または後天的に狭くなっている疾患のことである。

**neurapraxia**：もっとも軽症である神経損傷で、器質的な変化はなく一過性のものである。

**アライメント**：本研究で使用されるこの用語は、側面から観察した脊椎のカーブのことである。

**四肢麻痺**：上肢、下肢の麻痺のことである。完全麻痺と不完全麻痺さらには一過性の麻痺に区別される。

**骨棘**：変形性脊椎症などで出現する一種の加齢現象で、椎体の角が鋭角に突出してくる現象のことである。

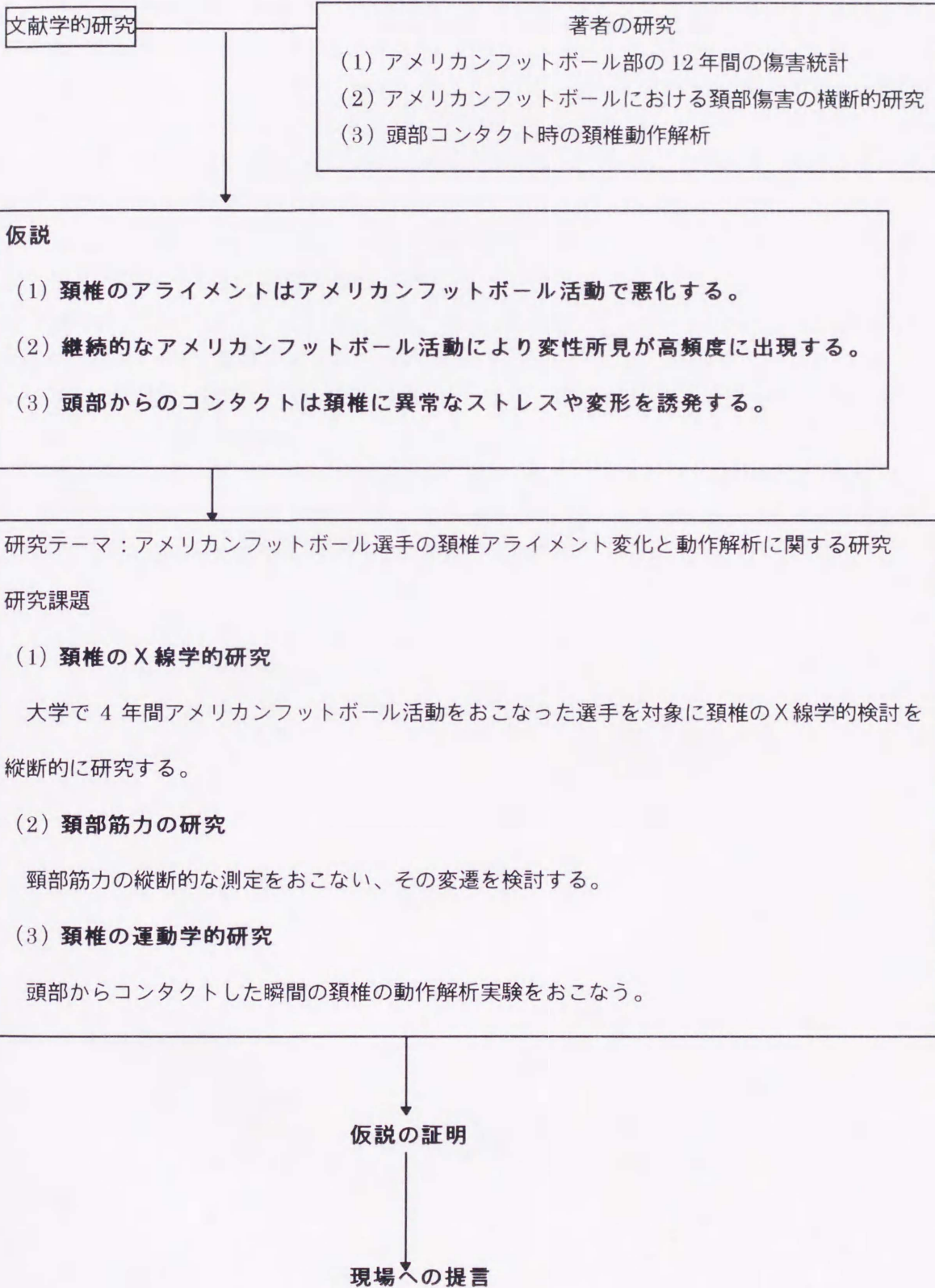
**pincers mechanism** : 頸椎が過伸展されたときに脊柱管の横径が短縮され、脊髄が圧迫されるメカニズムをいう。

**すべり** : 本研究では頸椎を側面から観察したときに上下の椎体が前後にずれている現象のことである。

**paradoxical movement** : 頭部からコンタクトした際に、上下の隣り合う椎体が反対方向へ回転する現象のことである。

**椎間関節傷害** : 椎体の後方にある椎間関節に発生する傷害のことである。

アメリカンフットボール選手の頸椎アライメント変化と動作解析に関する研究



#### 関連論文集

本研究は、以下の論文を基礎にしてさらに拡大、発展させたものである。

1. 下條仁士、矢吹 武、福林 徹、土肥徳秀、松元 剛：アメリカンフットボールにおける頸部障害、臨床スポーツ医学別冊、4：110-114、1987
2. 下條仁士、矢吹 武、土肥徳秀、松元 剛：アメリカンフットボールにおける外傷 1-頸部外傷-、Japanese Journal of Sports Sciences、7（12）：785-793、1988
3. 下條仁士、宮永 豊、林浩一郎、福林 徹、松元 剛：アメリカンフットボールのスポーツ障害、臨床スポーツ医学、9：229-231、1992
4. 下條仁士：各競技における現状と対策-復帰の問題を含めて-アメリカンフットボール、臨床スポーツ医学、9（11）：1237-1241、1992
5. 下條仁士、宮永 豊、林 浩一郎、福林 徹、松本 剛：アメリカンフットボールのスポーツ傷害、臨床スポーツ医学、10（4）：463-468、1993
6. 下條仁士、宮永 豊、林 浩一郎、福林 徹、松本 剛：アメリカンフットボールのスポーツ傷害、スポーツ産業学研究、4（2）：29-33、1994
7. 下條仁士、宮永 豊：バーナー症候群、骨・関節・靭帯、8（12）：1615-1621、1995
8. 下條仁士、宮永 豊、岡室英幸、福林 徹、林浩一郎：アメリカンフットボールの頸部傷害について、臨床スポーツ医学、12（1）：93-103、1995

	目次	1 頁
<b>第 1 章 序論</b>		2
1-1. はじめに		3
1-2. 文献学的研究		6
1-3. 研究小史		11
1-3-1. アメリカンフットボール部の 12 年間の傷害統計		11
1-3-2. アメリカンフットボールにおける頸部傷害の横断的研究		14
1-3-3. 頭部コンタクト時の頸椎動作解析		16
1-4. 研究目的		18
<b>第 2 章 頸椎の X 線学的研究</b>		20
2-1. 頸部外傷のアンケート調査		20
2-1-1. 対象		20
2-1-2. 方法		20
2-1-3. 結果		21
2-2. 頸椎アライメントの縦断的变化		22
2-2-1. 対象		22
2-2-2. 方法		22
2-2-3. 結果		24
(1) 頸椎アライメントの縦断的变化		24
(2) 頸椎アライメントと頸部外傷との関係		32
2-3. 頸椎の狭窄症と変性所見		35
2-3-1. 対象		35
2-3-2. 方法		35
2-3-3. 結果		37
(1) 脊柱管の狭窄の有無		37
(2) 骨棘の有無		39
(3) 椎体間のすべりの有無		41
2-4. 考察		42
2-4-1. 頸部外傷経験のアンケート調査		42
2-4-2. 頸椎アライメントの変化		42
2-5. 小括		46
<b>第 3 章 頸部筋力の研究</b>		47
3-1. 対象		47
3-2. 方法		47
3-3. 結果		49
3-3-1. 頸部筋力と頸部周囲径		49
3-3-2. ポジション別の比較		49
3-3-3. 頸椎アライメント変化と頸部筋力の変化		51
3-4. 考察		53
3-5. 小括		55

<b>第4章 頸椎の運動学的研究</b>	56
4-1. 対象	57
4-2. 方法	57
4-3. 結果	64
4-3-1. 頸椎各椎体および椎間の回転角度変化	64
4-3-2. 椎間圧縮変位<X軸>	67
4-3-3. 椎体間すべり変位<Y軸>	69
4-3-4. 衝撃力の測定結果	71
4-3-5. 筋電図	72
4-4. 考察	73
4-4-1. 頸椎各椎体および椎間の回転角度変化	73
4-4-2. 椎間圧縮変位と椎体間すべり変位	75
4-4-3. 頸椎アライメントとの関連	76
4-4-4. 本実験の特徴	76
4-5. 小括	78
<b>第5章 総括</b>	79
5-1. 要約	79
5-2. 共分散構造分析法を用いた各要素の検討	82
5-3. 本研究の特徴	85
5-4. 仮説の検証	87
5-5. 現場への提言	89
<b>謝辞</b>	
<b>引用文献</b>	



## 第1章 序論

### 1-1. はじめに

アメリカンフットボールは代表的なコンタクトスポーツのひとつで、攻撃と守備が明確に区別されており、ポジションにおける役割分担が明確で交代が自由なこと、防具が高度に発達していることなどが特徴としてあげられる。

わが国では近年、人気も高まり競技人口は増加の一途をたどっている。しかしながら、激しいスポーツなので外傷、障害も多く発生し、アメリカンフットボールの普及の障害にもなっていることは無視できない。ここで、スポーツ外傷とは一回の大きな外力が身体に作用して引き起こす損傷と定義する。また、スポーツ障害とは繰り返す微少な外力が身体に作用し引き起こされる慢性の損傷とし、両者を一括してスポーツ傷害と定義する。スポーツ安全協会の平成10年度の報告ではアメリカンフットボールの加入者は13,995名であり、このうちスポーツ傷害保険給付対象者は1,020名(7.29%)で最もスポーツ傷害発生率が高い種目であった。また米国では、1992～1993年の全米大学体育協会(NCAA:National Collegiate Athletic Association)の統計でも9.59(1,000人の選手が1回の練習または試合で受傷する頻度)と最も高い受傷率を示していた<sup>(1)</sup>。

ポジションによって役割は異なるが、一回のプレーで攻守22名のうちほとんどの選手がヘルメット同士でぶつかり合うので、このような競技特性から頭部や頸部に何らかの傷害をきたす可能性が高いと考えられる<sup>(2)(3)(4)(5)</sup>。その程度は様々であるが、場合によっては死に結びつくこともある。頭部傷害で最も多いのは脳震盪であり、大半は慎重な経過観察である一定期間を過ぎれば競技復帰は可能であるが、急性の頭部硬膜下血腫や硬膜外血腫も散見されており、1年間に数名の死亡事故が報告される年もある<sup>(6)(7)</sup>。

米国での頸部の骨折、脱臼、亜脱臼の年間発生数は1976年で110件、頸髄損傷による四肢麻痺患者は1976年での33件を最高に、その後はルールの改正で減少したが、1997年のデータでそれぞれ20件、5件とやや減少傾向にある。最近では日本でも重度外傷としては頸椎の骨

折、脱臼骨折、頸髄損傷などの発生が散見されるようになってきている。このため、関東大学アメリカンフットボール連盟が1992年から年に1回の安全対策セミナーを開催、チームドクター・ゲームドクター制度の実施、医務担当者の設置の義務化、保険制度の徹底、事故報告の徹底等を推進し、さらに1997年からアメリカンフットボール医科学研究会が開催されるようになった。

著者は、アメリカンフットボールのチームドクターとして関わりをもってから約18年になる。直接遭遇した重大事故には急性の硬膜下血腫で緊急手術をして救命し得た21歳の症例や、同じく急性硬膜下血腫で保存的に救命し得た2症例（20歳と21歳）などがある。しかし一方で、日常頻繁に遭遇した外傷にバーナー症候群があった。これは、ハードタックルしたあとに選手の上肢が一過性の麻痺を呈するもので、その場では頸部の重大事故と鑑別がつかず少なからず緊張した経験がある。さらに、同じくハードタックルした後に一過性の四肢麻痺を数例経験してからはことの重大さに気がつき、頸椎の調査を開始したわけである。

これに対してスポーツ障害に分類されるものとして、アメリカンフットボールを長年プレーした選手の中には慢性の肩こりや上肢のしびれを訴えるものも少なくない。アメリカンフットボール選手132名を対象にした1988年の著者らの調査では49.9%に後遺症があるとの回答が得られた。その内訳は頸部痛（40%）、肩こり（24.9%）、上肢のしびれ（20%）などであった<sup>(13)</sup>。彼らの頸椎X線写真を見ると、年齢の割には変形性頸椎症の進行が観察されることから、アメリカンフットボールのプレー自体が頸椎になんらかの影響を与えている可能性が充分考えられた。

頸椎、頸髄損傷は一度発症すると永続的な四肢麻痺となり、一生涯車椅子の生活を余儀なくされることとなる。麻痺の程度が高度であれば、いかに早期に手術を含む適切な処置をおこなったとしても完全な回復は望めないことも多い。昨日まで元気にプレーをしていた若い選手がこのような事故で障害者となり、第三者の介助で一生過ごさなければならないのを見ることは耐えがたい。この研究は、こうした不幸な事故を予防するための一助となることを願っておこなわれた。

しかしながら、アメリカンフットボールに限らず、ある特定のスポーツ活動の頸椎に与える影響に関する研究は横断的なものが散見されるが、特定の集団を縦断的に追跡した研究は皆無である。アメリカンフットボール活動そのものが頸椎の変化にどのような影響を与えるのかを縦断的に追跡調査する意義は医学的にはもちろんのこと体育学的にもきわめて高いと感じた。

## 1-2. 文献学的研究

アメリカンフットボールにおける頸部傷害に関する過去の文献を、テーマ別に紹介する。

### (1) スポーツにおける頸部外傷

スポーツにおける脊髄損傷は全脊髄損傷の約10%といわれている。そのうち頸髄損傷は20～30%と高率である。スポーツによる頸髄損傷の種目としては水泳（飛び込み）が最も多く、次いで体操、ラグビー、アメリカンフットボール、柔道などのコンタクトスポーツ、そしてスキー、トランポリンなどに多くみられる<sup>(12) (13)</sup>。

米国におけるアメリカンフットボール選手の頸椎骨折、脱臼、亜脱臼の件数は、1976年がピークで年間110件発生していた。しかし、その後徐々に減少し、1990年以降は年間10件前後となっている。これらの症例のうち、四肢麻痺となった件数は1976年がピークで、34件報告されている。その後、減少傾向にあり1990年以降では、5件前後となっている。

日本における頸椎損傷の全国的な正確な統計は不明である。しかし、北里研究所病院の調査では、1986年から1998年間で頸椎損傷が7件あったとの報告がある<sup>4)</sup>。

### (2) 頸部外傷（頸椎損傷・頸髄損傷）の好発部位

頸部外傷（頸椎損傷・頸髄損傷）の損傷部位を明らかにした研究はこれまでに数多く行われてきた。1991年にTorgは頸部外傷（頸椎損傷・頸髄損傷）の損傷部位は、上位頸椎（第1頸椎以下C1と略す。第2頸椎以下C2と略す。）、中位頸椎（C3-C4）、下位頸椎（C4-C7）に分類され、アメリカンフットボールでは、特に中位頸椎（C3-C4）での損傷が相対的に多いのが特徴であると述べている<sup>(17) (20)</sup>。すなわち、頭頂部から外力が加わる軸圧損傷であり、治療に困難を要する場合が多いと報告している<sup>(20)</sup>。一般に中位頸椎（C3-C4）損傷は稀（Bohlmanは300件の頸部傷害のうち中位頸椎（C3-C4）の損傷は6件と報告し<sup>(22)</sup>ている。）といわれておりアメリカンフットボールの頸部外傷の中では最も注意を要するものである。また、彼は1977年に、中位頸椎（C3-C4）での損傷を8例取りあげて、一般には稀な中位頸椎損傷がアメリカンフットボールでは他のスポーツよりも多発すると報告している<sup>(21)</sup>。アメリカンフットボール以外の中位頸椎（C3-C4）損傷

に関して 1979年に Bohlmanは300件の頸部傷害のうち中位頸椎(C3-C4)の損傷は6件と報告し<sup>(22)</sup>、1982年に O'Brienは34件の頸部傷害のうち中位頸椎(C3-C4)の損傷は2件と報告している<sup>(23)</sup>。

### (3) 頸部外傷（頸椎損傷・頸髄損傷）発生機序解明に関する研究

アメリカンフットボールにおける頸部外傷の発生機序には、以下のように特徴的なものがある。

#### 1) “spear tackler's spine”

コンタクトスポーツにおいて、Torg 他は頸椎損傷や頸髄損傷などの頸部外傷が発生する危険因子として、1) 先天的もしくは後天的な脊柱管狭窄症、2) 頸椎の前弯の消失や後弯があるもの、3) 頸部外傷の既往症があり、頸椎の異常が存続しているもの、4) 頭部からコンタクトするいわゆる“spearing（スピアリング）”の習慣が身に付いてしまっているものを挙げている。Torgはこの危険な頸椎を“spear tackler's spine”と定義した<sup>(24)</sup>。

また、Torg 他は、コンタクトスポーツの頸部傷害の一つとして先天的、後天的に脊柱管狭窄症を持った選手が頸部の過伸展、過屈曲、軸圧を被った時に、一過性の四肢麻痺を伴う脊髄の neurapraxia の存在を確認した<sup>(25)</sup>。

#### 2) “pincers mechanism”

Penningの報告では頸椎の伸展時に脊柱管の直径が減少し（pincers mechanism）、頸髄を圧迫しやすくなり、さらに頸椎症性の骨棘形成がある場合には頸椎の圧迫が顕著になると述べている<sup>(31)</sup>。

### (4) 頸椎の X 線学的研究

#### 1) 頸椎のアライメント変化と変性所見

著者他はアメリカンフットボール選手と一般男子を対象とした頸椎 X 線学的調査において、一般健常男子に比べアメリカンフットボール選手に骨棘形成や椎体のすべりなどの異常を約 15%に、頸椎アライメントの異常を約 46%に認めたと報告した<sup>(13) (23) (32)</sup>。

またアメリカンフットボールにおける頸椎アライメント変化に関して、松元らはアメリカンフットボール選手の経年的な頸椎 X 線撮影をおこない、頸椎中間位の隣接椎間のなす角度の総和がシーズン前に比べ、シーズン後において減少していることを報告している<sup>(33)</sup>。

著者他は、コンタクト時の頸部屈筋群の収縮は過伸展強制を防ぐとともに、頸椎柱を短縮させる軸圧として働くことによって、椎間板内圧を高め、椎間板や椎体の後方を支点として、椎間板の破壊や靭帯、関節包のゆるみをひきおこすため、明らかな外傷経験がなくても、頸椎に X 線学的変化をもたらすとした<sup>(34)</sup>。

骨棘形成や椎体のすべりなどの頸椎変化は過度になると物理的に脊柱管や椎間孔を狭窄する可能性があり、激しいコンタクトをおこなったときに、頸髄や神経根を圧迫・摩擦し神経症状を呈する場合があります、コンタクトスポーツでは問題となる頸部障害といえる。また頸椎アライメントにおける前弯の消失や後弯は Torg 他が指摘しているようにいわゆる“spear tackler's spine”の一つであり、重要な所見である<sup>(24)</sup>。

## 2) 脊柱管狭窄症

脊柱管の狭窄は、先天的な発育上の形成と頸椎症性変化による後天的な形成によるものがあり、神経学的症状とこれら二つのタイプの狭窄症の関係について数多くの報告がなされている<sup>(8) (13) (26) (27) (28) (29)</sup>。つまり、後天的な形成によるものには頸部への軽度の外力で四肢麻痺を生じやすいと述べている。Payne らは脊柱管狭窄症と脊髄症の関係について述べ、その中で骨棘の形成や変性椎間板症や頸椎亜脱臼により脊柱管の矢状面直径が減少していることを報告している<sup>(30)</sup>。

## (5) 頸部筋力測定に関する研究

著者や松元他は、頸部屈曲力が高いほど隣接椎間のなす角度の総和が少ないことを頸部筋力の測定評価から明らかにし、前弯の消失や後弯といった、頸椎アライメント変化などの頸椎変化に関して、頸部屈筋群が関与している可能性を示した<sup>(13) (33)</sup>。

著者や川北他は頸椎症性変化を伴わない生理的前弯の消失は、頸部の筋力訓練による伸筋群と屈筋群（胸鎖乳突筋など）との筋力の不均衡が原因である可能性を指摘し、屈筋群の過度の強化がもたらした影響であると警鐘をならした<sup>(13) (15) (34)</sup>。

#### (6) アメリカンフットボールにおける頸部障害の研究

アメリカンフットボールにおける頸部障害に関する報告は少ない。米国におけるアメリカンフットボールの頸部傷害に関する研究は外傷に集中しており、頸部障害に関する研究は著者が調査した範囲では見あたらなかった。1988年に著者は大学アメリカンフットボール選手57名の頸椎X線所見の横断的な調査を国内では初めて報告した<sup>(13)</sup>。この中で骨棘形成がC 3/4で19.3%、次いでC 4/5で17.6%、C 5/6で3.5%にみられた。また、頸椎のアライメントは頸部に障害のない対照群では前弯が66.7%であったのに対し、アメリカンフットボール群ではわずか38.6%と著しく減少した。このような結果をふまえ、アメリカンフットボール選手の頸椎アライメント異常は、コンタクト練習や試合でのタックルやブロックのため繰り返す小さな外力（minor trauma）が頸椎にかかるためにひきおこされる障害であると考えた。しかも、変形性頸椎症や自動車の追突事故などの際の好発部位（下位頸椎）とは異なり、変性所見が中位頸椎に最も多くみられた。

#### (7) アメリカンフットボールにおける頸部外傷予防の歴史

アメリカでは、1971年よりNational Football Head and Neck Injury Registryが設けられ、頭部傷害や頸部傷害の記録が登録されるようになった<sup>(9)</sup>。アメリカンフットボールで使用されるヘルメットは強化プラスチックからできており頭部を保護している。ヘルメットの改良によって安全性が高まるにつれ、選手がミサイルのように頭部からブロックやタックルにいく、いわゆる“spearing（スピアリング）”タックルが見受けられるようになった（図1-2-1）。この結果、頭部傷害の発生（率）は減少したが、頸部傷害の発生（率）は増加した。皮肉にも頭部保護のために改良されたヘルメットを過信することで、頸部傷害を起こす結果につながった<sup>(13)</sup>。このような理由で、全米大学体育協会（NCAA）および全米州立高校連盟（NFSHSA:National

Federation of State High School Association ) は、1976年に“spearing”禁止をルール上改正させた。その後頸部傷害の発生率が大幅に減少したとの報告がある<sup>(13)</sup><sup>(14)</sup>。

全国レベルのアンケート調査の回収率が50%だったため正確には計算できなかったが、日本におけるアメリカンフットボールの重大事故発生率は米国に比べ10倍～20倍と推測され、関東大学アメリカンフットボール連盟では試合から退場せざるを得ないような外傷については記録を残し、それを分析することで重大事故の予防をおこなっている。1992年度の報告では頸部外傷は10件報告されているが、死亡事故には至っていない。しかし1992年度以降、日本のアメリカンフットボールでの頸椎損傷による死亡事故は3件報告されている。

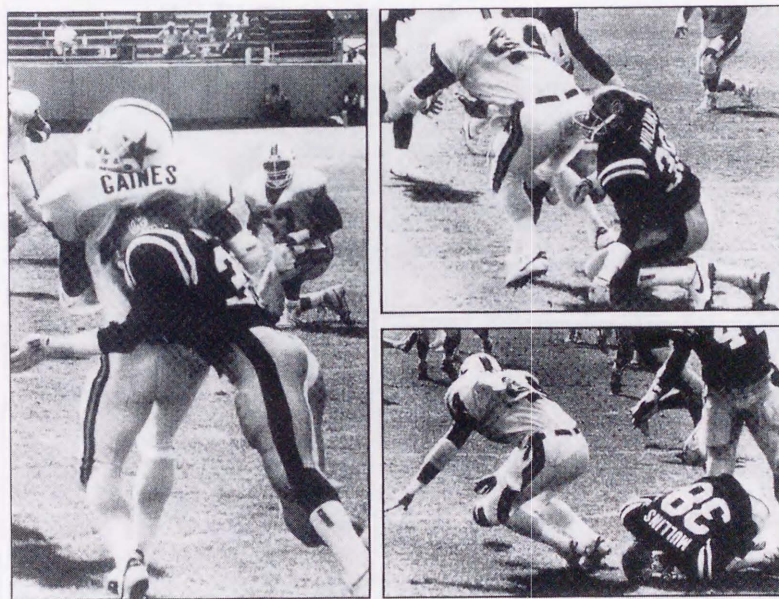


図 1-2-1. 典型的なスピアリングタックル（反則）。

黒いヘルメットのディフェンスバックの選手が頭頂部から白いヘルメットの選手にアタックしている。この瞬間、黒いヘルメットの選手の頸椎は脱臼骨折をおこした。このため不完全四肢麻痺となり、引退した。（文献（17）より引用。）



### 1-3. 研究小史

著者が中心となって施行したアメリカンフットボールの外傷の2編と頭部コンタクト時の頸椎動作解析の研究は本研究につながる重要なものであるので、これらを簡単にまとめる。

#### 1-3-1. アメリカンフットボール部の12年間の傷害統計<sup>(49)</sup>

アメリカンフットボールは防具を身につけて激しいコンタクトをくり返すため、使い過ぎ症候群などのスポーツ障害よりもスポーツ外傷が多いのが特徴である。生命に直接関わる頭部外傷や頸椎損傷も散見され<sup>(8)</sup>、傷害予防のためのシステムチックな予防対策の構築も重要である<sup>(9)</sup>。ここでは、アメリカンフットボールのスポーツ傷害の傾向を筑波大学アメリカンフットボール部の12年間の統計<sup>(49)</sup>から紹介する。

1977-1988 まで筑波大学保健管理センターのスポーツ外来を受診したアメリカンフットボール選手に対して、傷害データベースを作成し、これをもとに統計処理をおこなった。この12年間に発生した傷害は513件、試合または練習に参加した選手は延べ105,600名であった。

その結果、選手1,000名が試合、および練習を1回おこなった場合の受傷人数を受傷率として算出すると筑波大学の場合は4.86であった。ちなみにNCAAの統計では6.57(選手1,000名が試合、および練習を1回おこなった場合の受傷人数を受傷率として算出する。)であった。

疾患名別では、捻挫(27%)、打撲(13%)、創傷(9%)、骨折(8%)などが多かった。部位別では膝関節(17%)、足関節(13%)、肩、鎖骨(10%)、頸部(8%)、などが多かった。ポジション別ではオフェンスライン25%、ランニングバック22%、ラインバッカー12%、ディフェンスバック10%と続き、上位2つのポジションは攻撃側であった。

受傷機転でも、「タックルされる」20%、「ブロックする」13%など攻撃側の動作で多く見られた。学年別では1年生と2年生にスポーツ傷害が多く見られた。年間を通してみると春のオープン戦の時期と夏合宿、秋の公式戦の時期に傷害発生率は集中していた。

ポジション別に傷害部位を検討してみると、オフェンスラインではくり返すブロックのための腰痛が多く、ランニングバックでは繰り返しタックルを受けるために肋骨骨折などが多く、守備の要となるラインバッカーではブロックを受けることで膝関節損傷を受傷しやすいことが判明

した。頸部傷害に関しては、デフェンスラインが部位別に見て7%と最も多く、デフェンスバックでも4%で3位であった(表1-3-1)。全体ではスポーツ外傷が約70%、スポーツ障害が約30%を占めた。なお、アメリカンフットボールのポジションの説明を図1-3-1に載せた。

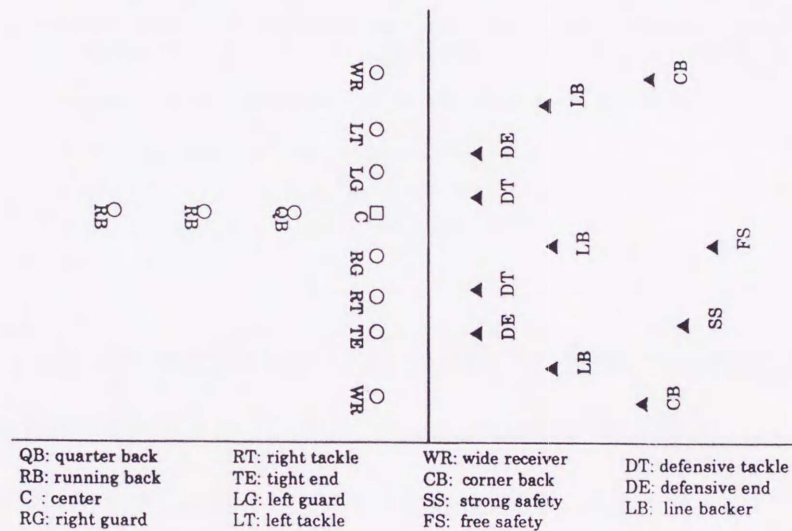


図1-3-1. アメリカンフットボールにおけるポジション

白丸が攻撃側のポジション。黒丸が守備側のポジションを示す。  
 前線で体当たりを繰り返すLT、LG、C、RG、RT、TE、DE、DT、  
 さらに2列目のLBをライン群、後方でボールを運ぶポジションを  
 バックス群と分類した。

表1-3-1 ポジション別頻発部位と頻度

ポジション	好発部位		
OL	腰 (22%)	膝, 足関節 (14%)	下腿 (12%)
TE	足関節 (17%)	腰, 大腿, 膝 (14%)	手指, 下腿 (10%)
RB	胸 (14%)	肩 (13%)	膝, 下腿 (12%)
WR	肩 (22%)	足関節 (15%)	腰 (13%)
DL	頸 (7%), 膝 (9%)	手指 (13%)	腰, 足 (11%)
LB	膝 (22%)	手指 (15%)	前腕, 手関節 (13%)
DB	足関節 (22%)	腰 (13%)	頸 (4%), 手指 (2%), 膝 (3%)

OL:offensive linemen DL:defensive linemen  
 TE:tight end LB:line backer  
 RB:running back DB:defensive back  
 WR:wide receiver

重傷事故としては1982年に急性硬膜下血腫(21歳)、1991年に急性硬膜外血腫(20歳)が発生し、それぞれ緊急手術と保存療法により幸い完全な社会復帰をとげている。また、春のシーズンイン直前と秋のシーズン直後にメディカルチェックをおこなっているが、それによって頸椎の脊柱管狭窄症をとまなう、繰り返す一過性の四肢麻痺の2例(19歳、22歳)と突然死の危険性のある特発性心筋症を1例(19歳)発見し、プレーヤーから学生コーチに変更させた。

日本アメリカンフットボール協会の医事委員会で国内で発生した重傷事故件数を調査したところ、競技人口を約20,000人とすると重大事故の発生率は0.0065%となり、アメリカの0.0005%の10倍以上であることが判明した<sup>(1) (10)</sup>。

ちなみに筑波大学アメリカンフットボール部では、緊急時に対応のできる病院を常に確保すること、クラブ内に緊急時の対応システムを作成することや、さらに定期的な防具の点検や、選手の健康管理、トレーナーの育成、コーチへの健康教育、など救急対策システムの構築を積極的に推進している。

また、頸部損傷や繰り返すバーナー症候群の予防、減少のための頸部周囲筋、上肢周囲筋の強化やネックロールの装着の推進をおこない<sup>(11)</sup>、膝関節不安定性のある選手には膝ブレース、足関節不安定性を有する選手にはハイカットシューズやアングルブレースやテーピングの装着の相談などを訓練した大学院トレーナーを通して指導している<sup>(12)</sup><sup>(13)</sup>。もちろん、以上のようなブレースやテーピングは筋力を強化し、基本的な動きづくりを積極的におこなわせたうえで始めて効果が発揮されることを、コーチや選手に理解させることが重要である。

以上を総括して次の結論を得た。

1. 筑波大学アメリカンフットボール部の12年間のスポーツ傷害受傷率は4.86であった。
2. 全傷害の70%はスポーツ外傷が占め接触によるものが多かった。
3. 部位別では膝関節、足関節、肩関節、ついで頸部が多かった。
4. ポジションによる受傷部位の特徴があった。
5. 低学年の受傷率が高かった。
6. 頭部外傷が2例みられたが社会復帰できた。
7. 緊急時に備えてクラブ内での対応システムを作成しておくべきである。

### 1-3-2. アメリカンフットボールにおける頸部傷害の横断的研究<sup>(42)</sup>

1986-87年度の筑波大学アメリカンフットボール現役部員および卒業生132名、年齢18-29歳（平均20.9歳）を対象に以下の項目について調査を行った。なお、この対象は第2章以下で述べる本研究の対象とは異なる。

まずアンケート調査を行った。内容は、氏名、年齢、経験年数、頸部外傷の有無、受傷時のポジション、受傷時の状況、受傷時のプレー、受傷機転（頸部の過進展強制、頸部の過屈曲強制、頸部の軸圧強制、頸部の側屈強制等）、後遺症の有無について調査した。

次に、理学的所見（頸椎可動域制限の有無、局所所見、神経学的所見）について直接検診を行った。

さらに頸椎X線機能撮影をおこなった。ここでは、アライメント（この定義は2-1-2を参照のこと。）、骨棘の有無、椎間腔狭小化の有無、椎体のすべりの有無について調査した。

また、一般外来受診患者で頸部は正常であると思われる同年代の39名の頸椎X線をコントロール群とした。これは頸部以外の主訴で来院した患者にインフォームドコンセント（説明と同意）をおこない、頸椎X線を撮影して得たフィルムをもとにした。

その結果、アンケート調査では、頸部外傷経験者は132名中80名、60.6%であった。受傷回数は1-6回、平均1.1回であった。受傷機転では伸展強制が約44%と最も多く、ついで側屈、軸圧と続いた。ポジション別にみると、バックスの78.9%、ラインマンの81.3%に頸部外傷の経験があった。学年別にみると、2年生が最も多く38.4%、以下、1年生が30.5%、3年生が19.2%、4年生が15.3%となった。受傷時の状況をみると、練習中が75.6%と試合中の24.4%に比べると多かった。単位時間あたりでは試合中の発生頻度がやや多かった。受傷時のプレーでは、ブロックやダミータックル時がそれぞれ24.4%と最も多く、ついでタックル時の20.1%と続いた。

後遺症は49.9%と約半数にみられ、頸部痛40.0%、肩こり24.9%、手指のしびれ20.0%、頸部不安感15.1%となった。

理学的所見では、頸椎の可動域制限を認めたものは32.6%、局所の圧痛を認めたものが46.5%、また深部反射異常は25.6%、上肢筋力低下、知覚異常がそれぞれ4.7%に認められた。

頸椎X線所見のうち頸椎アライメントで前弯をしめす割合は38.6%でありコントロール群（同年代の一般外来受診患者）の66.7%に比べて有意に少なかった。角状後弯は29.8%、S状カーブは24.6%、後弯は3.5%にみられた。頸椎伸展位で椎体の2mm以上のすべりがあった例はC4/5で36.8%、C3/4、C5/6でそれぞれ19.3%にみれたが、コントロール群では認められなかった。骨棘形成はC2/3（第2、第3頸椎間）で1.8%、C3/4で19.3%、C4/5で17.6%、C5/6で3.5%に認められた。椎間腔狭小化はC4/5で14.0%、C5/6で10.5%にみられた。これらの所見はコントロール群には認められなかった。

以上を総括して次の結論を得た。

1. アメリカンフットボールでは毎回のプレーでほぼ全員がコンタクトを繰り返すため、頭頸部

にストレスが加わる頻度は他のコンタクトスポーツに比べて遙かに高く、今回の横断的な調査では頸部の外傷経験者が約60%であることが判明した。

2. 受傷機転では伸展強制、軸圧、ひねりが加わることが多かった。学年別にみると低学年での受傷が多く、特に注目したいのが対人コンタクトプレーに備えて行うダミータックルやブロックでも発生していたことである。これは技術的未熟さ、筋力不足が大きな要因となっていることは明らかである。

3. X線所見はアライメントの異常、骨棘形成、椎間腔狭小化、それに椎体のすべりがコントロール群に比べると有意に多かった。繰り返し頭頸部に加わるストレスが剪断力で高い椎間板内圧を生じ、椎間板の弱体化や靭帯、関節包のゆるみを引き起こすとも考えられる。

### 1-3-3. 頭部コンタクト時の頸椎動作解析<sup>(13)</sup>

アメリカンフットボールにおいてコンタクトした瞬間の頸椎の動的な挙動を定量的に解析するためにシネラジオグラフィーを用いた頸椎の動作解析実験を世界で初めて1988年におこない発表した<sup>(13)</sup>。まず、コンタクト用のフレーム装置を作成し、被験者の安全面と実験結果の再現性を確認した。実験は、頭部からコンタクトした際の頸椎の動作解析を頸部傷害歴のない選手2名を対象におこなった。対象選手にヘルメットを装着し、自作のコンタクトボードに頭部からコンタクトした瞬間を毎秒50コマのシネフィルムスピードで側面から撮影した。撮影は、頸椎伸展位、中間位、屈曲位でのコンタクト動作をそれぞれ3回ずつ実施した。C2/3、C3/4、C4/5の可動域の変化をdigitizerを用いて測定した。

その結果、次の結論を得た。

1. 頭部からのコンタクトを安全に、しかも再現性があるように実験ができるコンタクトフレームを試作した。
2. コンタクトにより上位頸椎から順に動き始めた。
3. 筋電図上、頸部の屈筋群と伸筋群はコンタクトの瞬間から同時収縮を開始した。
4. 頭部を挙上した伸展位でコンタクトした場合、C2/3は衝突の直前からfeedforward的に一

瞬、屈曲位に移動した。

これらの結果からアメリカンフットボールにおけるコンタクトの際、頸部周囲筋は同時収縮することにより頸椎柱を短縮させる軸圧として働き、頸椎列を安定化させていると考えた。また、解剖学的に頭部とC 1、C 2は強力な頭板状筋、頸半棘筋で胸郭上部にアンカーされており、頸椎のさまざまな形態学的な異常はC 2/3 以下の上位から中位頸椎に好発しやすいと推測した<sup>(13)</sup>。

#### 1-4. 研究目的

著者の横断的な調査から、大学アメリカンフットボール選手の頸椎アライメントは同年代の男子と比較して、前弯が少なく、後弯や角状後弯やストレートが明らかに多く出現していたことが判明した。また、骨棘などの変形性頸椎症をしめす所見も高頻度に観察された。さらにコンタクトスポーツの宿命でもあるが頸髄損傷など重大事故が発生する危険が示唆された。

文献学的研究から、アメリカンフットボール活動中に発生した頸髄損傷を分析し、タックリングの技術的な側面からみて、頭部から相手にコンタクトするいわゆる“spearing（スピアリング）”が最も危険であり、ルール改正で禁止とした報告<sup>(9)</sup>が有名である。しかし、アメリカンフットボール選手の頸椎変化を経時的に縦断的に調査した報告はなく、前述した危険度の高い選手の頸椎変化がはたしてアメリカンフットボール活動によって発生したのか、それとも生来持っているものなのかは明確ではない。

そこで、研究目的はアメリカンフットボール選手の頸椎形態変化の特徴を把握し現場に生かすことで、以下に述べるような仮説と研究課題を設定した。

##### 1-4-1. 仮説

###### 仮説

###### (1) 頸椎のアライメントはアメリカンフットボール活動で悪化する。

頸部外傷の有無にかかわらずアメリカンフットボール活動を継続することで、頸椎のアライメントは悪化するとの仮説をたてた。

###### (2) 継続的なアメリカンフットボール活動により変性所見が高頻度に出現する。

アメリカンフットボールによる頸部外傷の有無に関する横断的な調査から、頸部に疼痛を感じたことのある選手は約60%であった。したがって、継続的なアメリカンフットボール活動そのもので変性所見が出現すると仮定した。

###### (3) 頭部からのコンタクトは頸椎に異常なストレスや変形を誘発する。

頭部からコンタクトする技術は、もっとも危険であるとされているが、実際頸部に異常なス



トレスや変形が生じると仮定し、動作解析実験をおこなった。

#### 1-4-2. 課題設定

本場米国では年少期からアメリカンフットボールに慣れ親しみ、遊びの中からタックリング技術を学び、自然に必要な筋力なども発達していくことは想像に難くない。これに対し、日本では大半の選手は大学入学後に初めてアメリカンフットボールを体験している。今回対象としたグループは、全員が18歳から初めてアメリカンフットボールを開始している。したがって、この集団を縦断的に追跡すれば、この4年間に生じた変化（頸椎のX線変化、筋力、その他の外傷や傷害）はアメリカンフットボール活動によるものと考えられる。つまり、アメリカンフットボールそのものの活動で惹き起こされる身体的な変化を観察するには、米国での調査よりも本邦のこのような集団を観察していく方が有利である。そこで、仮説を検証するための調査、実験をおこなった。

##### (1) 頸椎のX線学的研究

大学で4年間アメリカンフットボール活動をおこなった選手を対象に頸椎のX線学的検討を縦断的に研究する。

##### (2) 頸部筋力の研究

頸部筋力の縦断的な測定をおこない、その変遷を検討する。

##### (3) 頸椎の運動学的研究

さらに、頭部からコンタクトした瞬間の頸椎の動作解析実験をおこなう。

## 第2章 頸椎のX線学的研究

第1章で設定した研究課題の解決のために、第2章では縦断的な頸椎X線学的研究（アンケート調査、頸椎アライメントの縦断的变化、頸椎の狭窄症と変形所見）をおこなった。

### 2-1. 頸部外傷のアンケート調査

#### 2-1-1. 対象

1990年～1994年の間に筑波大学アメリカンフットボール部に在籍した144名のうち、4年間アメリカンフットボール活動を続けた選手は97名であった。このうち定期的な直接検診、頸椎X線撮影、頸部筋力測定に参加し、すべてのデータのそろった71名を対象とした（表2-1-1）。この71名は、全員大学入学後にアメリカンフットボールを開始していた。高校生時代のスポーツ歴はさまざまであるが、頸部外傷の既往歴はなかった。年齢は18-23歳、全員男性である。

表2-1-1 各調査項目の実施プロトコール

	1年次：5月	2年次：5月	3年次：5月	4年次：12月
頸部外傷の調査	-	-	-	○
頸椎X線撮影	○	○	○	○
頸部筋力測定	○	○	○	○

○：実施項目 n=71    -：実施していない。

#### 2-1-2. 方法

##### (1) 調査方法

質問紙法によるアンケート調査および口頭によるアンケート調査によっておこなった。特に、過去に頸部の傷害のないこと、そのほか内科的にも本研究に影響を及ぼすような既往歴がないことを確認した。

##### (2) 調査項目

1年次から4年次の間に、コンタクトプレーによって頸部の痛みや四肢のしびれ等を感じたことがあるかどうかを質問し、1回でも頸部の痛みを感じたことのあるものを頸部外傷経験有り、感じたことのないものを外傷経験なしとした。

### (3) 統計

毎プレーのように激しいタックルやブロックをおこない、頸部につねに負担がかかると想定されるコンタクトの多いポジション (offensive-linemen : OL, tight-end : TE, defensive-linemen : DL, line-backer : LB) をライン群 (37名)、比較的コンタクトの少ないポジション (running-back : RB, quarter-back : QB, wide-receiver : WR, defensive-back : DB, kicker : K) をボックス群 (34名) とし、両群間における比較、検討を行うことにした。また、検定にはカイ2乗検定を使用した。

#### 2-1-3. 結果

頸部外傷経験の有無のアンケートによると、頸部外傷経験有りが71名中40名(56%)、外傷経験なしが31名(44%)となった。ポジション別にみるとオフェンスライン(OL)で85.7%、ランニングバック(RB)では57.1%、クォーターバック(QB)では33.3%、ワイドレシーバー(WR)では12.5%、タイトエンド(TE)では75.0%、ディフェンスライン(DL)では70.0%、ラインバッカー(LB)では50.0%、ディフェンスバック(DB)では50.0%で頸部外傷経験有りとなった。ライン群、ボックス群別にみると、ライン群は73.0%が頸部外傷経験有り、ボックス群では38.3%が頸部外傷経験有りとなり、ライン群、ボックス群との間に有意な差( $p<0.01$ )がみられた(表2-1-2)。

表 2-1-2 ポジション別頸部外傷経験者の割合

	頸部外傷経験有り(名)	外傷経験なし(名)	人数
ライン群	27	10	37
ボックス群	13	21	34
計	40	31	71

## 2-2. 頸椎アライメントの縦断的变化

### 2-2-1. 対象

対象は、2-1-1.と同様に71名である。

### 2-2-2. 方法

#### (1) 頸椎 X 線撮影

頸椎 X 線は、座位側面像で正面、中間位、屈曲位、伸展位の4方向を撮影した。撮影日時は毎年5月と4年次の12月とした。所見項目は以下の4項目に関する所見をとって検討した。

#### (2) 頸椎アライメント分類

頸椎アライメントは整形外科領域で一般的に使用されている分類法に従い、以下の5型に分類した(図2-2-1)。

**前弯 (lordosis)** : 頸椎 X 線側面像で C2 椎体後縁から C5、または C7 椎体後縁を結ぶ直線の角度が常に前方に凸となるもの。

**後弯 (kyphosis)** : 頸椎 X 線側面像で C2 椎体後縁から C5、または C7 椎体後縁を結ぶ直線の角度が常に後方に凸となるもの。

**ストレート (straight)** : 頸椎 X 線側面像で C2 椎体後縁から C5、または C7 椎体後縁を結ぶ直線の角度がいずれも2度以下になるもの。

**S 字状カーブ (sigmoid-like curve)** : 頸椎 X 線側面像で C2 椎体後縁から C5、または C7 椎体後縁を結ぶ直線の角度が上位頸椎では前方凸、下位頸椎では後方凸となるもの。

**角状後弯 (angulation)** : 頸椎 X 線側面像で C2 椎体後縁から C5、または C7 椎体後縁を結ぶ直線の角度は前方に凸またはストレートであるが一椎間のみ後方凸となるもの。

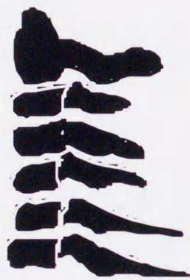
前弯をアライメント正常、その他の後弯、ストレート、S 状カーブ、角状後弯をアライメント異常とした。頸椎の X 線上の正常の状態を明確に定義したものはなく、多様な加齢変化と性差に加えて、頸椎自体の持つ形態上の複雑さから、どの部位のどの程度の変化が正常範囲を越えたものであるかを判断することは容易ではないが、正常の頸椎は常に前弯を形成しているとされ、諸家が脊椎角度計を作製してそれを計測している<sup>(65) (66)</sup>。



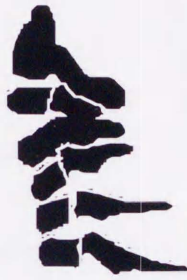
前弯



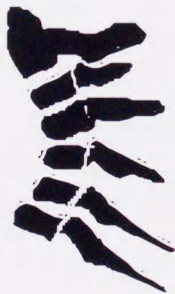
後弯



ストレート



S状カーブ



角状後弯

図 2-2-1 頸椎アライメント分類

頸椎のアライメントを5型に分類した。前弯をアライメント正常、そのほかをアライメント異常とした。

### 2-2-3. 結果

#### (1) 頸椎アライメントの縦断的变化

1年次の頸椎アライメントは、全体では前弯が71名中39名(54.9%)、後弯が1名(1.4%)、ストレートが16名(22.5%)、S字状カーブが10名(14.1%)、角状後弯が5名(7.1%)であった。ライン群では、37名中21名(56.7%)が前弯、1名(2.7%)が後弯、ストレートが6名(16.2%)、S字状カーブが7名(18.9%)、角状後弯が2名(5.4%)であり、ボックス群では、34名中18名(52.9%)が前弯となり、後弯が0名、ストレートが10名(29.4%)、S字状カーブが3名(8.8%)、角状後弯が3名(8.8%)で、ライン群とボックス群の間に有意差はなかった(表2-2-1)。

表2-2-1 1年次 頸椎アライメントの割合(人)

	前弯	後弯	ストレート	S字状	角状後弯	計
ライン群	21 (56.7%)	1 (2.7%)	6 (16.2%)	7 (18.9%)	2 (5.4%)	37
ボックス群	18 (52.9%)	0 (0)	10 (29.4%)	3 (8.8%)	3 (8.8%)	34
計	39 (54.9%)	1 (1.4%)	16 (22.5%)	10 (14.1%)	5 (7.1%)	71

2年次の頸椎アライメントは、全体では前弯が71名中30名(42.9%)、後弯が8名(11.3%)、ストレートが17名(23.9%)、S字状カーブが11名(14.8%)、角状後弯が5名(7.1%)であった。ライン群、ボックス群は表2-2-2のごとくである。

表2-2-2 2年次 頸椎アライメントの割合(人)

	前弯	後弯	ストレート	S字状	角状後弯	計
ライン群	13 (35.1%)	6 (16.2%)	8 (21.6%)	8 (21.6%)	2 (5.4%)	37
ボックス群	17 (50.0%)	2 (5.9%)	9 (26.5%)	3 (8.8%)	3 (8.8%)	34
計	30 (42.9%)	8 (11.3%)	17 (23.9%)	11 (14.8%)	5 (7.1%)	71

3年次の頸椎アライメントは、全体では前弯が71名中35名(44.3%)、後弯が8名(11.3%)、ストレートが15名(21.1%)、S字状カーブが9名(12.7%)、角状後弯が4名(5.6%)であった。ライン群、ボックス群は表2-2-3のごとくである。

表2-2-3 3年次 頸椎アライメントの割合(人)

	前弯	後弯	ストレート	S字状	角状後弯	計
ライン群	15 (40.5%)	6 (16.2%)	7 (18.9%)	7 (18.9%)	2 (5.4%)	37
ボックス群	20 (58.2%)	2 (5.9%)	8 (24.1%)	2 (5.9%)	2 (5.9%)	34
計	35 (44.3%)	8 (11.3%)	15 (21.1%)	9 (12.7%)	4 (5.6%)	71

4年次の頸椎アライメントは、全体では前弯が71名中35名(49.5%)、後弯が4名(5.6%)、ストレートが17名(23.9%)、S字状カーブが12名(16.9%)、角状後弯が3名(4.1%)であった。ライン群では、37名中14名(38.0%)が前弯、3名(8.1%)が後弯、ストレートが9名(24.3%)、S字状カーブが9名(24.3%)、角状後弯が2名(5.3%)であり、ボックス群では、34名中21名(61.7%)が前弯となり、後弯が1名(3.0%)、ストレートが8名(23.3%)、S字状カーブが3名(9.0%)、角状後弯が1名(3.0%)と変化した(表2-2-4)。

表2-2-4 4年次 頸椎アライメントの割合(人)

	前弯	後弯	ストレート	S字状	角状後弯	計
ライン群	14 (38.0%)	3 (8.1%)	9 (24.3%)	9 (24.3%)	2 (5.3%)	37
ボックス群	21 (61.7%)	1 (3.0%)	8 (23.3%)	3 (9.0%)	1 (3.0%)	34
計	35 (49.5%)	4 (5.6%)	17 (23.9%)	12 (16.9%)	3 (4.1%)	71

1年次と4年次での頸椎アライメントの経時的変化については、全体では変化有りが71名中37名(52.1%)で、変化無しが34名(47.9%)であった。ライン群では、37名中22名(59.4%)に、ボックス群では、34名中15名(44.1%)にそれぞれアライメントの変化があった。ライン群とボックス群におけるアライメント変化の割合はコンタクト回数の多いライン群の方がボックス群より高かった(表2-2-5)。

表 2-2-5 1年次/4年次の頸椎アライメント変化の割合(人)

	アライメント変化あり	アライメント変化なし	計
ライン群	22 (59.4%)	15 (40.6%)	37
ボックス群	15 (44.1%)	19 (55.9%)	34
計	37 (51.5%)	34 (47.9%)	71

また、1年次と4年次で前弯のアライメントが消失した選手は全体では37名中16名(43.2%)となった。ライン群では54.5%、ボックス群では26.7%の前弯が消失し、ライン群、ボックス群間で有意差( $p < 0.05$ )があった(表2-2-6)。

表 2-2-6 1年次/4年次で前弯が消失した割合

	前弯消失	変化なし	計
ライン群	12 (54.5%)	10 (45.5%)	22
ボックス群	4 (26.7%)	11 (73.3%)	15
計	16 (43.2%)	21 (56.8%)	37



頸椎アライメントが前弯だった選手の割合の各学年における推移は1年次から4年次への順に54.9%、43.5%、51.4%、49.5%となった。ライン群はそれぞれ56.7%、36.1%、42.0%、38.0%となり、ボックス群は52.9%、51.5%、56.5%、61.7%となった（図2-2-2）。

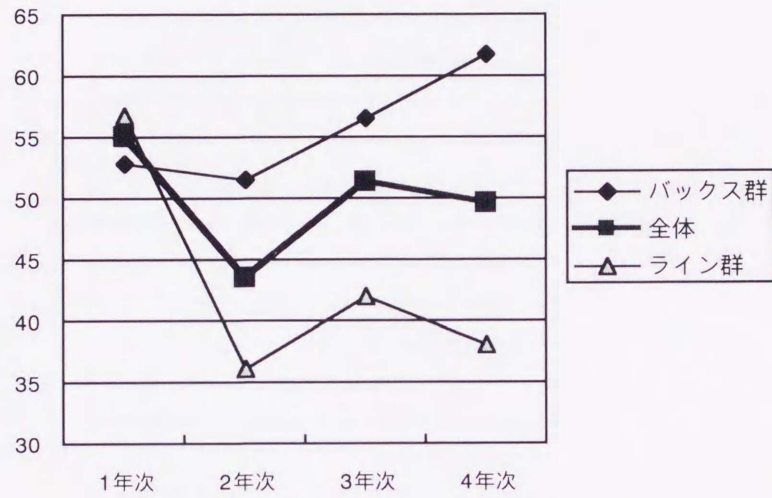


図 2-2-2 前弯の割合の変化（縦軸：%）

頸椎アライメントが前弯だった選手の割合の学年における推移は全体で1年次が54.9%から4年次には49.5%となった。ボックス群の割合は増加し、ライン群のそれは、減少した。

頸椎アライメントが後弯だった選手の割合の学年における推移は1年次が1.4%から4年次には5.6%となった。ライン群は1年次が2.7%から4年次には8.1%となり、ボックス群は1年次が0%から4年次には3.0%となった(図2-2-3)。

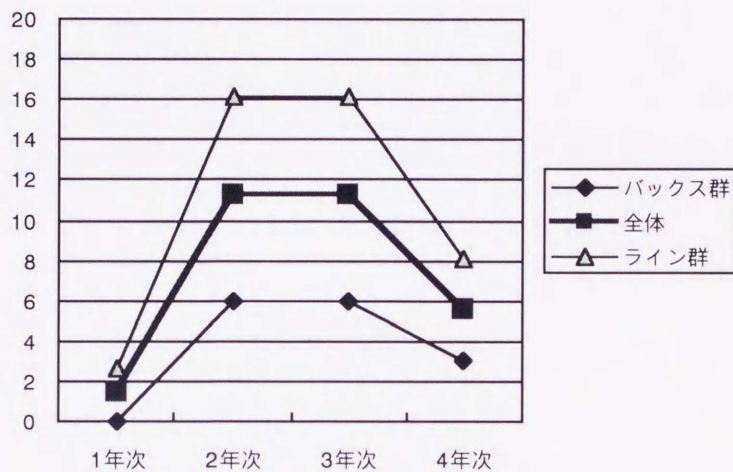


図 2-2-3 後弯の割合の変化(縦軸: %)

頸椎アライメントが後弯だった選手の割合の学年における推移は1年次が1.4%から4年次には5.6%となった。全体、ライン群、ボックス群ともに2年次に割合は増加し、4年次でやや減少した。

頸椎アライメントがストレートだった選手の割合の学年における推移は1年次が22.5%から4年次には23.9%となった。ライン群は1年次が16.2%から4年次には24.3%となり、バックス群は1年次が29.4%から4年次には23.3%となった（図2-2-4）。

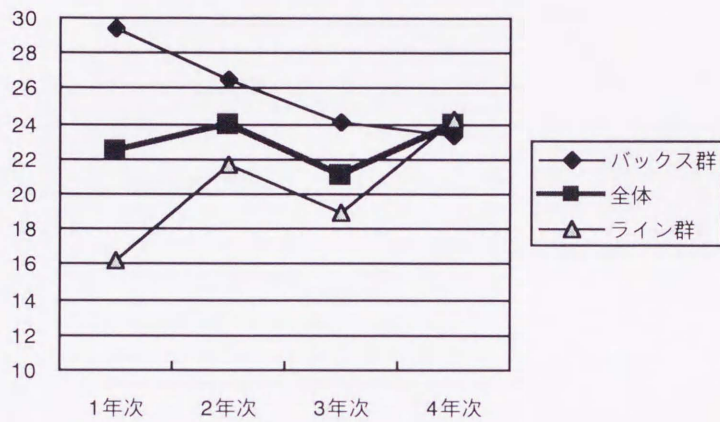


図 2-2-4 ストレートの割合の変化（縦軸：%）

頸椎アライメントがストレートだった選手の割合の学年における推移は1年次が22.5%から4年次には23.9%となった。ライン群は、徐々に増加し、バックス群は、減少した。

頸椎アライメントがS状カーブだった選手の割合の学年における推移は1年次が14.1%から4年次には16.9%となった。ライン群は1年次が18.9%から4年次には24.3%となり、バックス群は1年次が8.8%から4年次には9.0%となった（図2-2-5）。

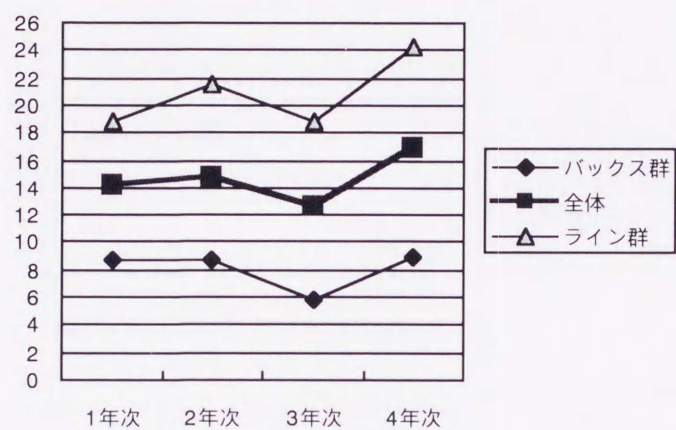


図2-2-5 S状カーブの割合の変化（縦軸：%）

頸椎アライメントがS状カーブだった選手の割合の学年における推移は1年次が14.1%から4年次には16.9%となった。ライン群、バックス群ともに同じ様な傾向を示した。

頸椎アライメントが角状後弯だった選手の割合の学年における推移は1年次が7.1%から4年次には4.1%となった。ライン群は1年次が5.4%から4年次には5.4%となり、ボックス群は1年次が8.8%から4年次には3.0%となった（図2-2-6）。

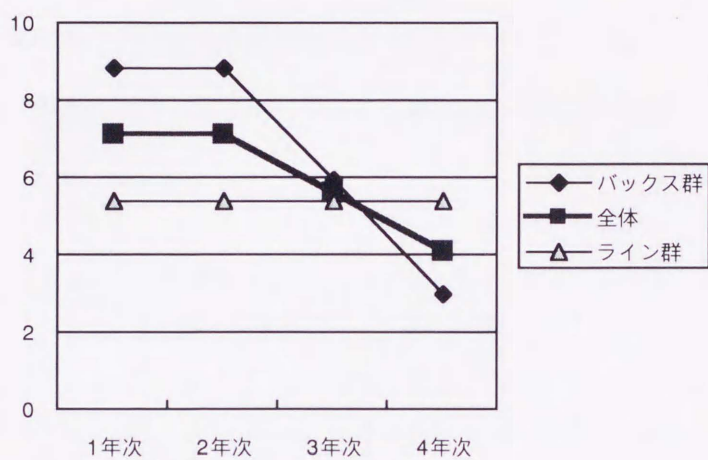


図2-2-6 角状後弯の割合の変化（縦軸：%）

頸椎アライメントが角状後弯だった選手の割合の学年における推移は全体では1年次が7.1%から4年次には4.1%となった。ライン群の割合は不変であり、ボックス群では減少した。

(2) 頸椎アライメントと頸部外傷との関係

1年次と4年次でアライメントに変化があった者のうち、頸部外傷経験有りは37名中15名(40.5%)で、アライメント変化無しで頸部外傷経験有りは34名中24名(70.6%)となった(表2-2-7)。ライン群では、アライメント変化有りで頸部外傷経験有りは、22名中18名(81.8%)、アライメント変化なしで頸部外傷経験有りは15名中9名(60.0%)となった(表2-2-8)。ボックス群ではアライメント変化有りで頸部外傷経験有りが15名中4名(26.7%)で、アライメント変化無しで頸部外傷経験有りが19名中9名(47.4%)となり(表2-2-9)、ライン群、ボックス群共にアライメント変化有りと変化無しとの間に有意差はなかった。

表 2-2-7 1年次/4年次の頸椎アライメント変化と頸部外傷経験の関係(全体)

	頸部外傷あり	頸部外傷なし	計	発生率(%)
アライメント変化あり	15	22	37	40.5
アライメント変化なし	24	10	34	70.6
計	39	32	71	54.9

表 2-2-8 1年次/4年次の頸椎アライメント変化と頸部外傷経験の関係(ライン群)

	頸部外傷あり	頸部外傷なし	計	発生率(%)
アライメント変化あり	18	4	22	81.8
アライメント変化なし	9	6	15	60.0
計	27	10	37	73.0

表 2-2-9 1年次/4年次の頸椎アライメント変化と頸部外傷経験の関係(ボックス群)

	頸部外傷あり	頸部外傷なし	計	発生率(%)
アライメント変化あり	4	11	15	26.7
アライメント変化なし	9	10	19	47.4
計	13	21	34	38.2

1年次と4年次で前弯→前弯をアライメント正常、前弯→前弯以外全てをアライメント異常と定義すると、アライメント正常で頸部外傷経験有りが22名中9名(40.9%)となりアライメント異常で頸部外傷経験有りが49名中31名(63.3%)となった(表2-2-10)。ライン群ではアライメント正常で頸部外傷経験有りは9名中4名(44.4%)となり、アライメント異常で頸部外傷経験有りは28名中22名(78.6%)となり、アライメント正常と異常との間に有意差( $p < 0.005$ )がみられた(表2-2-11)。ボックス群ではアライメント正常の選手で頸部外傷経験有りは、15名中4名(26.7%)、アライメント異常の選手では、19名中9名(47.4%)となり、アライメント正常と異常の間で有意差はなかった(表2-2-12)。

表 2-2-10 1年次/4年次の頸椎アライメント変化と頸部外傷の関係(全体)

	頸部外傷あり	頸部外傷なし	計	発生率(%)
アライメント正常 (前弯→前弯)	9	13	22	40.9
アライメント異常	31	18	49	63.3
計	40	31	71	56.3

表 2-2-11 1年次/4年次の頸椎アライメント変化と頸部外傷の関係(ライン群)

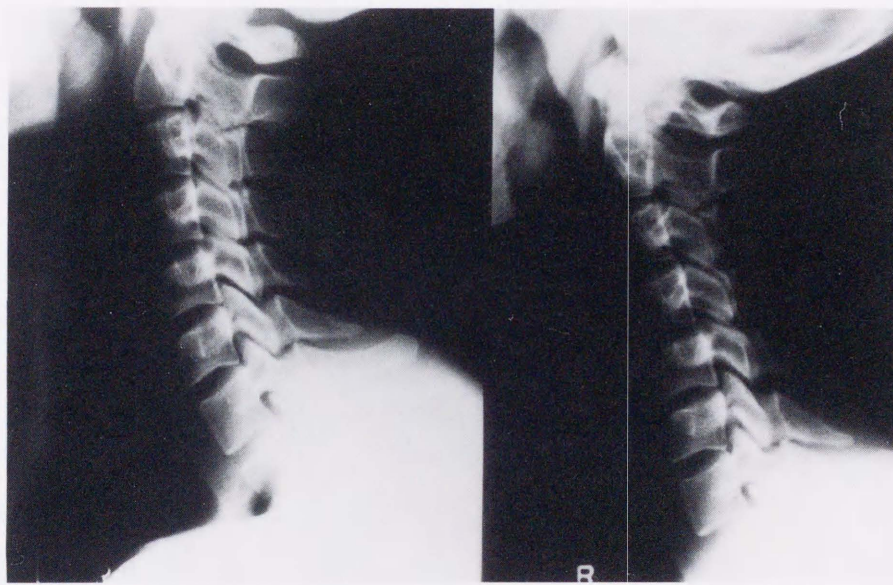
	頸部外傷あり	頸部外傷なし	計	発生率(%)
アライメント正常 (前弯→前弯)	4	5	9	44.4
アライメント異常	22	6	28	78.6
計	26	11	37	70.3

表 2-2-12 1年次/4年次の頸椎アライメント変化と頸部外傷の関係(ボックス群)

	頸部外傷あり	頸部外傷なし	計	発生率(%)
アライメント正常 (前弯→前弯)	4	11	15	26.7
アライメント異常	9	10	19	47.4
計	13	21	34	38.2

頚椎アライメントの変化した代表例をしめす。

症例 1. 18-22 歳、男性。(図 2-2-7)。2 年生の練習中にタックルし、バーナー症候群になって以来、毎年 10 回以上の受傷をくり返した。しかし、すべて一過性の麻痺で後遺症はなかった。



1 年次

4 年次

図 2-2-7

頚椎アライメントが前弯から S 字状カーブをしめすようになったディフェンスバックの選手である。



### 2-3. 頸椎の狭窄症と変性所見

#### 2-3-1. 対象

対象は、2-1-1.と同様の71名である。

#### 2-3-2. 方法

##### (1) 脊柱管の狭窄の有無

脊髄神経の通路を脊柱管といい、この大きさには個人差がある。脊柱管の狭窄は Trog 他<sup>(3)</sup>の Pavlov's ratio (椎体の横径に対する脊柱管の前後径の比)が0.8未満のものを脊柱管狭窄ありとした(図2-3-1)。これは、1年次のX線を用いて評価した。

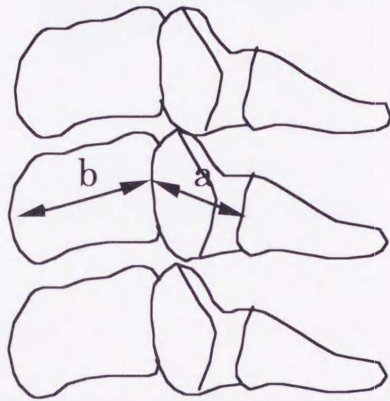


図2-3-1 Pavlov's ratio

脊柱管狭窄症は、Pavlov's ratio(=a/b)が0.8以下と定義した。

## (2) 骨棘の有無

骨棘とは、椎体の後縁部や前縁部に生じる突出部のことで、X線上で1mm以上のものを陽性とした(図2-3-2)。骨棘は、脊椎の変性所見の代表例で、加齢変化により出現するとされる。

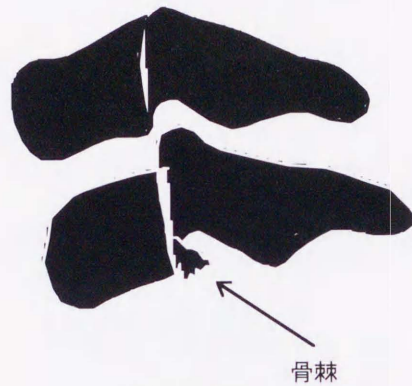


図2-3-2 骨棘

骨棘とは椎体後縁部または前縁部の1mm以上の三角形の突出部をいう。

## (3) 椎体間のすべりの有無

上下の椎体どうしを連結する前縦靭帯、後縦靭帯や椎間板の変性により、椎体のすべりが生じることがある。X線上で隣り合う椎体後縁のずれが1mm以上の所見を陽性とした(図2-3-3)。

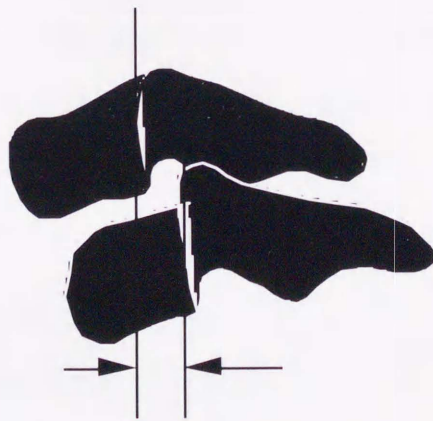


図2-3-3 椎体のすべり

隣り合う椎体後縁のずれが1mm以上のものを陽性とした。

### 2-3-3. 結果

#### (1) 脊柱管の狭窄の有無

Pavlov's ratio < 0.8 の者を脊柱管狭窄症としたところ、狭窄は 71 名中 13 名 (18.3%) にみられた。狭窄があり、頸部外傷があった選手は 13 名中 9 名 (69.2%) で、ライン群では 9 名中 7 名 (77.8%)、バックス群では 4 名中 2 名 (50.0%) となり (図 2-3-4)、ライン群とバックス群との間に有意差 ( $p < 0.01$ ) があつた。

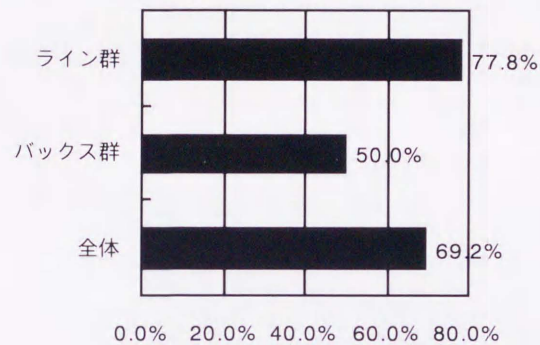


図 2-3-4 脊柱管狭窄と頸部外傷の割合 (n=71)

狭窄があり、頸部外傷があつた選手は 13 名中 9 名 (69.2%) で、ライン群では 9 名中 7 名 (77.8%)、バックス群では 4 名中 2 名 (50.0%) であつた。

アライメント別でみると、前弯の選手では 4 名中 2 名 (50.0%) が、前弯以外の選手では 9 名中 7 名 (77.8%) が頸部外傷経験となり、前弯と前弯以外の間に有意差 ( $p < 0.05$ ) があつた。

Pavlov's ratio の平均は C2 で 1.654、C3 で 0.95.9、C4 で 0.9263、C5 で 0.9521、C6 で 0.9371 となつた。また、各椎体での狭窄数は C2 で 1 名、C3、C4、C5 で 7 名、C6 で 5 名となつた。狭窄部位と頸部外傷の関係は C2 で 1 名中 1 名 (100%)、C3、C4、C5 は、7 名中 5 名 (71.4%)、C6 では 8 名中 5 名 (62.5%) となつた (表 2-3-1)。

表 2-3-1 Pavlov's ratio と椎管狭窄数と頸部外傷経験者の関係

	椎体の横径 (mm)	椎管前後径(mm)	Pavlov's ratio (%)	椎管狭窄数 (人)	頸部外傷経 験者数	外傷発生率 (%)
C2	20.12	21.42	1.0654	1	1	100
C3	19.72	18.73	0.9509	7	5	71.4
C4	19.43	17.79	0.9263	7	5	71.4
C5	19.26	18.29	0.9521	7	5	71.4
C6	19.88	18.56	0.9371	8	5	62.5

椎管狭窄症の代表例をしめす。

症例 2。19 歳、男性。3 年次にタックルをして初めて一過性の四肢麻痺となり、以後タックルするたびに四肢麻痺をくり返した。約 3 ヶ月経過を観察するも症状改善せず、選手からコーチに変更された。(図 2-3-5)。



図 2-3-5

頸椎アライメントが S 字状カーブをしめす椎管狭窄症の症例で一過性の四肢麻痺を呈した。Pavlov's ratio は 0.71 であった。

## (2) 骨棘の有無

骨棘は1年次に71名中8名(11.3%)にみられ、4年次には12名(17.0%)に増加した。  
部位別(4年次)ではC2/3:3.1%、C3/4:9.3%、C4/5:6.2%、C5/6:9.3%でC3/4とC5/6  
に最も多く観察できた(図2-3-6)。また、頸部外傷との明確な関連性は見いだせなかった。

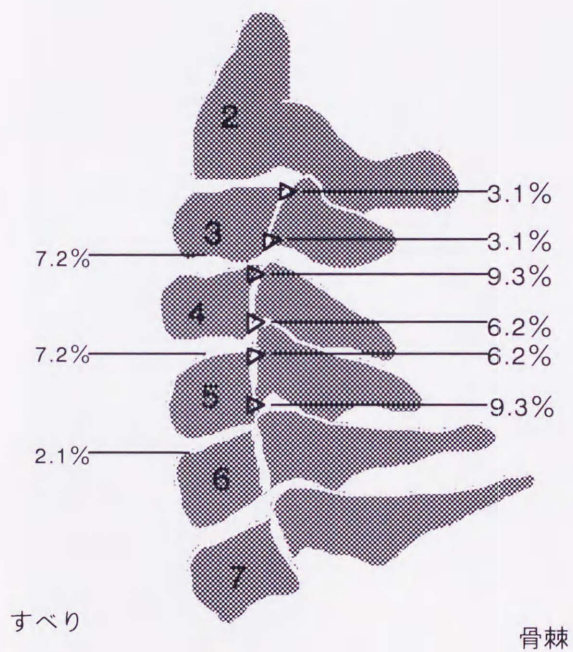


図 2-3-6 頸椎 X 線の変形性所見

骨棘は C3/4 に最も多かった。椎体のすべりは C4/5 にもっとも多かった。  
しかし、中等度、重度のすべりは認められなかった。

骨棘の代表例をしめす。

症例3. 21歳、男性。ディフェンスラインとして活躍した。ハードタックルを繰り返したが、軽度の頸部捻挫を約3度経験したのみであった。自覚症状はなかった。(図2-3-7)。

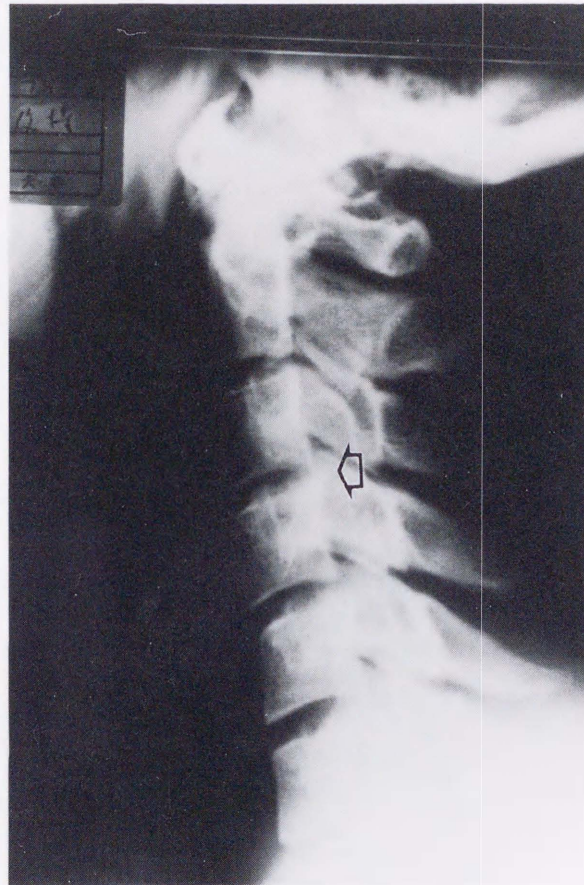


図 2-3-7  
C3/4の骨棘をしめす。◇

### (3) 椎体間のすべりの有無

X線側面像後屈位撮影で上下椎体の1mm以上のすべりを陽性としたところ、1年次に71名中3名(4.2%)にみられ、4年次には9名(12.6%)にみられた。部位別(4年次)ではC2/3:0%、C3/4:7.2%、C4/5:7.2%、C5/6:2.1%であった。しかし、中等度、重度のすべりは認められなかった。また、頸部外傷との明確な関連は見いだせなかった(図2-3-6)。

椎体間のすべりの代表例をしめす。

症例4. 22歳、男性。ラインバッカーとして活躍した。ハードタックルを繰り返したが、軽度の頸部捻挫を数回経験したのみであった。自覚症状はなかった。(図2-3-8)。

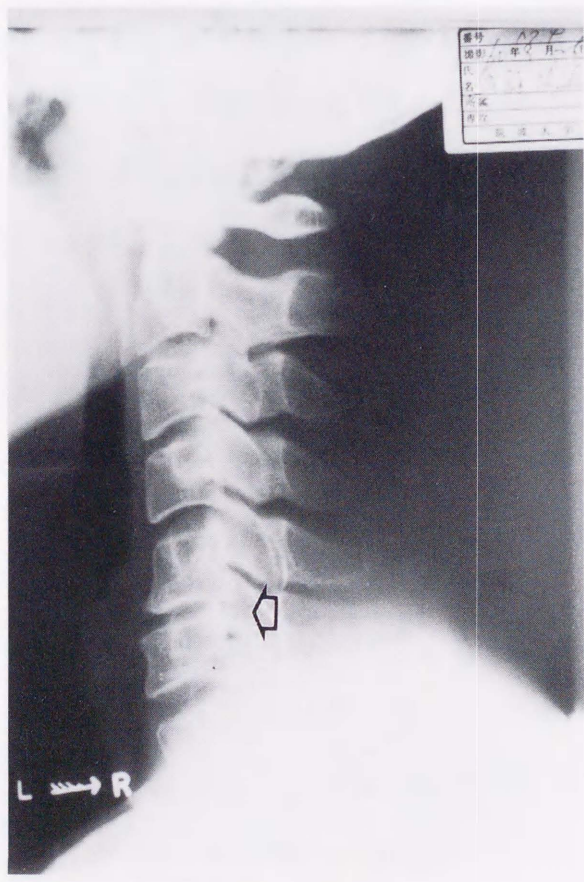


図2-3-8  
C5/6のすべりをしめす。

## 2-4. 考察

アメリカンフットボール選手の頸椎X線の縦断的な調査をおこない、以下の考察をこころみ  
た。

### 2-4-1. 頸部外傷経験のアンケート調査

今回の調査では頸部外傷経験者は56.0% (40/71) だった。ライン群バックス群別にみると  
ライン群で73.0%、バックス群で38.0%となった。以上の結果から頸部外傷経験の有無にラ  
イン群とバックス群との間に有意差 ( $p < 0.01$ ) がみられた。これは、ライン群の方が体重が  
重く、またブロックやタックルなどの激しいコンタクトの繰り返しによって頸部への慢性的な  
ストレスが加わったり、密集の中でコンタクトすることが多いために常に正面から当たるので  
はなく、斜方向からや時には死角から当たられることもあるため頸部が強固に固定できず、側  
屈強制や伸展強制を受けやすくなり、頸部への負担が大きくなるものと考えられる。

著者他は<sup>(46)</sup><sup>(47)</sup>、頸部外傷の発生原因として技術的未熟さや、筋力不足を挙げている。技  
術的未熟さは、コンタクトの際にハンドファーストができず、頭部からコンタクトしてしまう  
ことや、頭が下がった状態でのコンタクト時の頸椎は軽度屈曲位となり、頸椎の生理的前弯が  
減少し力学的に非常に弱い状態となり、頸椎に軸圧力がかかってしまい受傷することになる。

### 2-4-2. 頸椎アライメントの変化

#### (1) 1年次の頸椎アライメント

佐々木は健常人500名の頸椎のX線学的検討<sup>(64)</sup>をおこない、20歳代男性の前弯の割合は  
68%と報告しているが、諸家によりその割合は様々である<sup>(65)</sup><sup>(66)</sup><sup>(67)</sup><sup>(68)</sup><sup>(69)</sup><sup>(70)</sup>。たとえば  
正常の頸椎はつねに前弯を形成しているとされ、脊椎角度計を作成してそれを計測している諸  
家もある<sup>(65)</sup><sup>(66)</sup>。しかし、三好は健常な自験例の半数に後弯を認めたと報告している<sup>(70)</sup>。し  
たがって、本研究対象群の前弯の割合は54.9%、その他、後弯1.4%、ストレート22.5%、S  
字状カーブ14.1%、角状後弯7.1%であり、健常な集団を選択したと考えた。



また、外傷との関係では1年次/4年次の頸椎アライメントが前弯だった選手が4年間に頸部外傷を経験した割合は40.9%であった。同様にアライメント異常だった選手は63.3%が頸部外傷を経験していた。

すなわち後弯やS字状カーブであった選手は頸部外傷発生が高かった。Trog他はコンタクトスポーツをおこなう際に危険な頸椎アライメントの1つとして、頸椎の生理的前弯が消失しているか、後弯している選手と報告している<sup>(16)</sup>。そのため1年次のメディカルチェックでこれらアライメントが認められたときは頸部外傷を惹き起こす可能性の高い危険因子と考え、その選手に対して筋力強化や技術指導を適切にしなければならない。

## (2) 1年次と4年次のアライメントの経時的変化

1年次と4年次の頸椎アライメントの経時的変化をみると、表2-2-5から頸椎アライメントが変化した選手は71名中37名(51.5%)であった。ライン群では59.4%(22/37)、バックス群では44.1%(15/34)に変化がみられた。1年次に前弯であったライン群は56.7%、バックス群は52.9%であったが、4年次にはライン群は38%と有意に減少し、バックス群では61.7%に増加したが有意差はなかった。

頸椎アライメントが4年間のアメリカンフットボール活動で変化した原因として、頸部への外傷やアメリカンフットボール活動自体による影響などが考えられる。日常の練習や試合で繰り返す小さな外力が頭部を介して頸部に伝達され、頸椎の静的支持機構である前縦靭帯、後縦靭帯や椎間板などに微少な損傷(minor trauma)が生じたためアライメントが変化したと考えられる。明らかな頸部外傷を経験した症例はもちろん、明らかな外傷を経験しなかった症例も頸椎のアライメントが変化していることは、アメリカンフットボール活動そのものがこれに関与していると考えた。たとえば、22歳のバックスの一人は、頸椎アライメントが前弯から後弯に変化していたが、1年次には正常であったC5棘突起が4年次の撮影時には骨折しており、本人はいつ受傷したかも記憶にないこともあった。すなわち、本人の自覚なしに頸部には棘突起の骨折を惹き起こすほどの外力が作用していたことになる。

機能解剖学的に頸部の屈曲は、胸鎖乳突筋や頭長筋、頸長筋によって行われるが、胸鎖乳突筋は伸展筋としての作用もあり、協同作用する筋によって屈曲に働くか伸展に働くか変わってくる。一般にアメリカンフットボールではコンタクトの際に前方から頸椎を伸展強制させる力が加わる。胸鎖乳突筋はコンタクトの瞬間にかかる頸部への力を他の屈曲筋とともに吸収する。このような筋収縮の繰り返しが頸椎柱を収縮させる軸圧として働き、C2以下を安定させる働きをするが、それが椎間板の弱化や靭帯、関節包の脆弱化を惹き起こし、アライメントの変化につながっていたのかもしれない。ライン群の方がボックス群よりもコンタクトの回数が多いことなどにより、頸椎の椎間板、靭帯などに慢性的なストレスが加わりアライメントの変化やさらには骨棘の形成や椎体の変性などが起こりやすくなると考えられる。

アライメント異常の選手は、正常な前弯のアライメントを持っている選手とは異なるストレスをいずれかの頸椎で繰り返している可能性がある。そのためにその部位で何らかの頸椎変形性変化が起こり、それがコンタクト時の外傷を惹き起こす可能性が示唆された。

しかし、頸椎の静的支持機構だけが微少な損傷を生じたのであれば頸椎アライメントの変化は不可逆性になると考えられるが、アライメントの変化が複数回おきていたり、引退後約1年経過後に頸椎X線を撮影してみると、再び頸椎アライメントが前弯にもどっていた症例を観察しているとこの変化は可逆性のこともありうると思われた。

### (3) 脊柱管の狭窄の有無

Pavlov's ratio $<0.8$ になった選手で、頸部外傷経験があった選手は69.2% (9/13) となった。狭窄部位と頸部痛発生率をみると、C2で100% (1/1)、C3、C4、C5で71.4% (5/7) C6で62.5%となった。また、アライメント別にみると前弯を示した選手のうち50.0%、前弯以外の選手のうち75.0%が頸部傷害を経験しており、有意 ( $p<0.05$ ) に前弯以外のアライメントを示した選手の発生率が高かった。

頸部外傷経験者は全体で71名中40名 (56.3%) であったが、Pavlov's ratio $<0.8$ の選手は発生率が69.2%と有意に高く、脊柱管の狭窄が頸部傷害の発生危険因子として特記できる。

特に、一過性の四肢麻痺を経験した選手が調査期間中に4名存在したが全員が脊柱管狭窄と後弯やS字状アライメントを呈していた。したがって、頸椎の脊柱管狭窄と前弯以外のアライメントをしめす選手は重大な頸椎外傷を惹き起こす可能性があり、メディカルチェックでは最も注意すべき項目である。

#### (4) 頸椎の変性変化の有無

X線変形性変化(骨棘等)がC3/4、C4/5を中心とした部位に高学年になるほど多く観察された。佐々木の健常人頸椎のX線学的研究<sup>(64)</sup>では骨棘の好発部位はC4、C5、C6であると報告している。アメリカンフットボール選手では骨棘や椎体のすべりが中位頸椎に最も多く観察できたことは、このスポーツ活動そのものによる過剰なストレスが中位頸椎に生じていることを示唆している。体重の重いライン群は、ブロックやタックルなどの激しいコンタクトの繰り返しによって頸部への慢性的なストレスが加わったり、密集の中でコンタクトすることが多いために常に正面から当たるのではなく、斜方向からや時には死角から当たられることもあるため頸部の固定がしっかりとできず、側屈強制や伸展強制を受けやすくなり、頸部への負荷が大きくなることが考えられる。また、バックス群は敵に対して勢いよくブロックしたり、ボールをもっているときは手が使えず、頭部からのコンタクトになってしまうために頸部に過剰なストレスが働くことが考えられる。著者他は、頸椎アライメント変化の発生原因として技術的未熟さや、筋力不足をあげている<sup>(46)</sup><sup>(47)</sup>。技術的未熟さは、コンタクトの際にハンドファーストができず、頭部からのコンタクトになってしまうことや、頭が下がった状態でのコンタクト時の頸椎は軽度屈曲位となり、頸椎の生理的前弯が減少し力学的に非常に弱い状態になり、頸椎に軸圧力が加わってしまい受傷することになる。

同じスポーツ環境下の集団の頸椎X線を4年間にわたり縦断的に経過観察した研究は過去にはなく、アメリカンフットボール活動によって頸椎のアライメントは変化しうることが初めて判明した。もともとの頸椎アライメントが後弯やS字状であり、脊柱管狭窄もある選手は重大な頸部傷害を引き起こしやすい。

## 2-5. 小括

(1) アメリカンフットボール活動によって引き起こされる頸椎の変化を縦断的に経過を観察した。

(2) 対象は4年間アメリカンフットボール部に所属し、データのそろった選手71名である。

(3) 方法は毎年1回実施された頸椎X線を評価することと、頸部外傷に関する調査を行った。

(4) 4年間のアメリカンフットボール活動によって頸椎のアライメントが変化した選手は71名中37名(51.5%)であった。

(5) 前弯の割合は、ライン群の1年次が56.7%から4年次には38.0%に減少し、バックス群では1年次が52.9%で4年次には61.7%に増加した。

(6) 1年次の頸椎のアライメントが後弯やS字状を示した選手は、4年間にそれぞれ100%、70.0%の頻度で頸部傷害を経験していた。

(7) 頸椎アライメントが4年間のアメリカンフットボール活動で変化した原因として、頸部への外傷やアメリカンフットボール活動自体によるさまざまな影響が考えられる。

(8) 脊椎管狭窄 (Pavlov's ratio < 0.8) を呈した選手は13名(18.3%)であり、このうち9名(69.2%)が頸部傷害を引き起こした。また、一過性四肢麻痺をおこした選手が4名いた。

(9) 頸椎変性変化(骨棘、すべり)がC3/4、C4/5を中心とした部位に高学年になるほど多く観察された。

(10) 同じスポーツ環境下の集団の頸椎X線を4年間にわたり縦断的に経過観察した研究は過去にはなく、アメリカンフットボール活動によって頸椎のアライメントは変化する事が初めて判明した。

### 第3章. 頸部筋力の研究

#### 3-1. 対象

対象は、2-1-1.と同様に71名である。

#### 3-2. 方法

##### 3-2-1. 頸部筋力測定

マイクロFETを用いて等尺性最大屈曲力と最大伸展力および最大側屈力を測定した。マイクロFETはHogan Health社製の重量約500グラムのポータブル筋力測定器で、トランスデューサー部の精巧な3つのストレインゲージ素子が外部からの筋力に個々に反応しそのわずかな変化を力の方向に関係なく正確に測定できる。さらに軽量で携帯しやすく操作も簡単で現場で使用できる利点がある。測定可能範囲は2.7-440 N(1N $\approx$ 0.98kgf)である。

頸部最大屈曲力は固い診察台に被験者を仰臥位に寝かせた状態で体幹を助手が固定し、検者はマイクロFETを前額部にあて、被験者に頸部だけの力で測定器をできるだけ押し上げるように指示する。検者は両手でマイクロFETを押さえ、被験者が頸部筋力で抵抗しきれなくなった時点での数値を読みとり最大値とした。同様に側屈力は側臥位で、伸展筋力は腹臥位で、それぞれ3回ずつ測定をおこない、このなかの最大値を採用した。測定は毎年5月におこなった(図3-2-1、2、3)。

##### 3-2-2. 頸部周囲径測定

頸椎X線撮影をおこなった時期に同時に頸部の周囲径も測定した。測定部位は頸部のほぼ中間部位である甲状軟骨上とした。

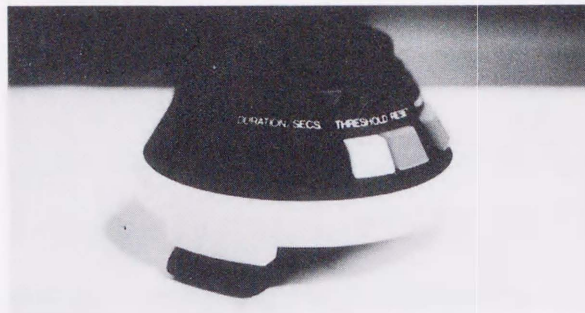


図 3-2-1. マイクロ FET

重量約 500 グラムのポータブル筋力測定器で、トランスデューサー部の精巧な 3 つのストレインゲージ素子が外部からの筋力に個々に反応しそのわずかな変化を力の方向に関係なく正確に測定できる。



図 3-2-2. 頸部伸展筋力の測定

検者は両手でマイクロ FET を押さえ、被験者が頸部筋力で抵抗しきれなくなった時点での数値を読みとり最大値とした。



図 3-2-3. 頸部屈曲力の測定。

検者は両手でマイクロ FET を押さえ、被験者が頸部筋力で抵抗しきれなくなった時点での数値を読みとり最大値とした。

### 3-3. 結果

#### 3-3-1. 頸部筋力と頸部周囲径

頸部筋力測定の結果、屈曲力は平均 215.0N、右側屈力は平均 300.1N、左側屈力は平均 290.0N、伸展力は平均 322.0N であった（表 3-3-1）。

学年別に頸部筋力と頸部周囲径の差を検討するとアメリカンフットボールの初心者である 1 年次のそれは 2、3、4 年次よりも有意に小さかった。

また、屈曲力と伸展力の比（前/後比）では 1 年次が 0.58、2 年次が 0.68、3 年次が 0.70、4 年次が 0.71 となり 1 年次と 2、3、4 年次の間で有意差がみられた。

頸部周囲径の結果では 1 年次が平均 38.4 cm で 2、3 年次の平均 40.6 cm、40.5 cm に比べて有意に低い値を示した（表 3-3-1）。頸部平均周囲径は平均 39.8 cm であった。

#### 3-3-2. ポジション別の比較

ポジション別に頸部筋力と周囲径を絶対値で比較してみるとライン群が 4 方向すべてでバックス群よりも大きかった（表 3-3-2）。

つぎにポジション別に頸部外傷経験群と未経験群との比較をおこなった。ライン群の頸部外傷経験群と未経験群の屈曲力はそれぞれ平均 216.8 N、255.8 N、右側屈力は平均 303.6 N、343.4 N、左側屈力は平均 291.8 N、322.5 N、伸展力は平均 325.0 N、356.7 N であり、屈曲力・伸展力比はそれぞれ平均 0.67、0.71、頸部周囲径はそれぞれ平均 40.5 cm、41.3 cm であった。

バックス群の頸部外傷経験群と未経験群の屈曲力はそれぞれ平均 235.4 N、208.0 N、右側屈力は平均 300.6 N、290.2 N、左側屈力は平均 291.5 N、277.0 N、伸展力は平均 328.8 N、310.1 N であり、屈曲力・伸展力比はそれぞれ平均 0.72、0.68、頸部周囲径はそれぞれ平均 38.8 cm、39.3 cm であった（表 3-3-3、3-3-4）。

頸部筋力と頸部周囲径には有意な相関関係が見られた ( $p < 0.05$ )。

表 3-3-1. 学年別頸部筋力

学年 (n=71)	屈曲力 (N)	右側屈力 (N)	左側屈力 (N)	伸展力 (N)	屈曲力・伸展力比	頸部周囲径 (cm)
1年	173.3±42.7	271.1±42.6	265.4±42.6	296.9±46.1	0.58±0.10	38.4±2.6
2年	221.8±39.2	306.7±48.8	298.7±48.1	329.2±41.4	0.68±0.09	40.6±2.3
3年	238.3±63.0	323.3±61.2	302.9±61.7	339.9±51.1	0.70±0.13	40.5±1.4
4年	226.4±30.6	302.5±48.2	293.2±47.9	321.9±43.6	0.71±0.07	39.6±1.2
平均	215.0±43.9	300.1±51.0	290.0±50.0	322.0±45.6		

n=人数

1年<2年 屈曲力 p<0.05 1年<3年、4年 屈曲力 p<0.01  
 1年<3年 右側屈力 p<0.05 1年<3年 伸展力 p<0.05  
 1年<2年 屈曲力・伸展力比 p<0.05 1年<3年、4年 屈曲力・伸展力比 p<0.01  
 1年<2年、3年 頸部周囲径 p<0.01

表 3-3-2. ポジション別頸部筋力

ポジション (n)	屈曲力 (N)	右側屈力 (N)	左側屈力 (N)	伸展力 (N)	屈曲力・伸展力比	頸部周囲径 (cm)
ライン群 (37)	239.3±62.2	326.5±63.2	309.5±60.0	343.3±49.1	0.69±0.12	41.0±1.9
ボックス群 (34)	224.9±27.7	302.6±42.3	294.4±44.4	323.9±38.1	0.70±0.09	39.9±1.0

n=人数

ボックス群<ライン群 屈曲力、右側屈力、伸展力、頸部周囲径 p<0.05

表 3-3-3

ライン群の頸部外傷有無別の頸部筋力

頸部外傷有無 (n)	屈曲力 (N)	右側屈力 (N)	左側屈力 (N)	伸展力 (N)	屈曲力・伸展力 比	頸部周囲径 (cm)
外傷有り (27)	216.8±30.7	303.6±34.1	291.8±24.3	325.0±24.7	0.67±0.08	40.5±1.5
外傷なし (10)	255.8±74.4	343.4±74.4	322.5±74.4	356.7±58.5	0.71±0.14	41.3±2.2

n=人数

有意差なし



表 3-3-4

ボックス群の頸部外傷有無別の頸部筋力

頸部外傷有無 (n)	屈曲力 (N)	右側屈力 (N)	左側屈力 (N)	伸展力 (N)	屈曲力・伸展力 比	頸部周囲径 (cm)
外傷有り (13)	235.4±26.9	300.6±49.6	291.5±44.8	328.8±43.7	0.72±0.07	38.8±1.3
外傷なし (21)	208.0±20.6	290.2±35.0	277.0±41.5	310.1±44.2	0.68±0.08	39.3±1.1

n=人数

有意差なし

### 3-3-3. 頸椎アライメント変化と頸部筋力の変化

次に頸椎アライメント変化と頸部筋力の変化について検討した。4年間の間に頸椎アライメントが前弯から変化した群（前弯消失群 15例）とアライメント変化を起さなかった群（無変化群 34例）に分類し、筋力の推移を調べてみた。前弯消失群の屈曲力は平均 159 N から 203 N に増加し、伸展力は 279 N から 301 N に増加した。無変化群の屈曲力は 205 N から 216 N に増加し、伸展力は 307 N から 323 N に増加していた。これを屈曲力・伸展力比で見ると前弯消失群は 0.58 から 0.69 に増加し、無変化群は 0.66 から 0.66 とほとんど変化は見られなかった。さらに増加率を検討した。屈曲力増加率は前弯消失群が 28.8% と無変化群の 6.5% に比べて有意に大きく、伸展力増加率は両者に有意の差は認められなかった。したがって増加率の屈曲/伸展力比も前弯消失群が 20.5 と無変化群の 0.9 と比較して有意に大きくなった。すなわち前弯消失群の屈曲力が無変化群のそれに比べて有意に増加していたことになる（図 3-3-1）。

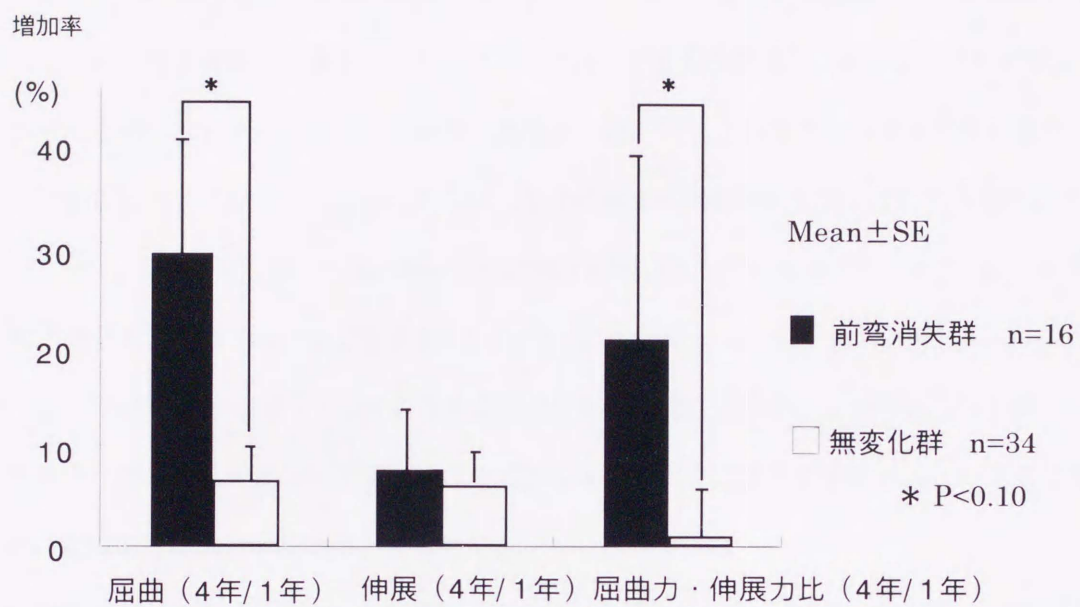


図 3-3-1. 頸椎アライメント変化の有無と頸部筋力比の関係。

屈曲力増加率は前弯消失群が 28.8%と無変化群の 6.5%に比べて有意に大きく、伸展力増加率は両者に有意の差は認められなかった。

### 3-4. 考察

第2章頸椎のX線学的研究の結果からアメリカンフットボールの活動を4年間継続することによってX線上頸椎のアライメント変化やさまざまな変形性変化が出現することが判明した。このような変化は2次的に脊柱管の狭窄や椎間孔の狭小化につながるため頸部に繰り返すストレスが加わるアメリカンフットボールにおいては脊髄症や神経根症を惹き起こす可能性がある<sup>(48)</sup><sup>(49)</sup><sup>(50)</sup>。また将来加齢による頸椎の退行変性が促進されることも考えられるために、とくに予防の重要性を強調するべきと考える。

また不良なアライメントを有する選手に頸部外傷の既往が多かったが明らかな外傷がなくてもアメリカンフットボールの活動そのものが頸椎の変化に大きな影響を与えていることも横断的に観察した報告と一致するところである。

頸椎の屈曲筋群は深頸筋群（頸長筋、頭長筋、その他前、中、後斜角筋など）と浅頸筋群（胸鎖乳突筋、舌骨筋群）に分けられる。頸椎を屈曲させる動きにはこれら深層と浅層の筋群の共同作業が必要で、まず、深頸筋群が収縮することで頸椎柱に軸圧を加え（頸椎柱を整え）、ほぼ同時に大きなモーメントアームを持つ強大な胸鎖乳突筋などの浅頸筋群が働き、各々の椎体はシンクロナイズして屈曲してくると考えられる（図3-4-1）。アメリカンフットボールでは前方からの外力に対して、フィードフォワード的にまず「頸部を固める」ことを要求される。この等尺性の収縮は浅頸筋群だけでなく深頸筋群の作用が重要に思われる。椎体の前面に付着している頸長筋や頭長筋の筋肥大がおこれば、頸椎のアライメントは前方凸の状態からやや直線状になることは充分想像できる（図3-4-2）。

縦断的な頸部筋力測定の結果、一般にアメリカンフットボール活動を続けると頸部の屈曲力の増加率が伸展力の増加率よりもより大きくなる傾向にあった。頸椎のアライメントは屈筋群と伸筋群の微妙なバランスのうえに成り立っていると考えるとこの屈曲力・伸展力比の変化もアライメントの経時的な変化に無視できない影響を与えているようである。アメリカンフットボールの実際の練習や試合では前方からコンタクトする機会がほとんどであり、活動そのものが屈曲筋力をより強化していることになると思われた。また、選手たちはほとんどが前方からのコンタクト

に備えて伸展筋群よりも屈曲筋群を重視してトレーニングする傾向にあり、今回の測定からも屈曲筋群の筋力増加が顕著に認められた。この事実が、1年生の時の前弯のアライメントを変化させていると考えられた。

頸部傷害の予防について技術的な面から考察する。ほとんどのコンタクトは前方からの外力が加わるのでヘッドアップをしてコンタクトすべきと言われるがこの解釈に問題があると思われる。単にヘッドアップというと顎をあげて頭部を伸展させると思いがちであるが、顎が上がった状態でのコンタクトでは姿勢反射の一つである原始頸反射のために肝心の上肢が伸展しにくく、腹筋も収縮しにくくなる。頸反射を利用してコンタクトの瞬間に腹筋を固め、上肢を伸展するにはあごを引いてヘッドアップしたほうが原始反射の面からも有利と思われる。あごを引いたヘッドアップでコンタクトをすれば頸椎の過伸展傷害の予防にも有利であると考えられる。

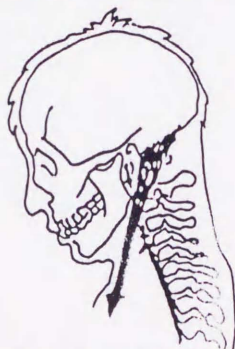


図 3-4-1. 頸部屈曲筋群

頸部屈曲筋群は深頸筋群（頸長筋、頭長筋、その他前、中、後斜角筋など）と浅頸筋群（胸鎖乳突筋、舌骨筋群）に分けられる。頸椎を屈曲させる動きにはこれら深層と浅層の筋群の共同作業が必要である。

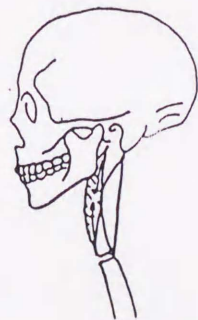


図 3-4-2. 頸長筋の肥大

椎体の前面に付着している頸長筋や頭長筋の筋肥大がおこれば、頸椎のアライメントは前方凸の状態からやや直線状になることは充分想像できる。

### 3-5. 小括

(1) 大学のアメリカンフットボール選手の頸部筋力が経時的にどのように変化していくのかを検討し、頸椎アライメント変化との関係を調査した。

(2) アライメントが前弯から変化した群（前弯消失群）の屈曲力・伸展力比の増加率は20.5%で無変化群のそれは0.9%となり筋力の屈曲/伸展比の変化が頸椎のアライメント変化と関連があると思われた。

(3) 第2章でアメリカンフットボールの活動によって頸椎のアライメント変化が出現することが判明したが、これは頸部に受けた直接の外傷や繰り返す微小外力だけではなく頸部筋力比の変化や深頸筋群の筋肥大などが関与していると推測された。

## 第4章 頤椎の運動学的研究

仮説(3)「頭部からのコンタクトは頤椎に異常なストレスや変形を誘発する。」を明らかにするために、頭部からコンタクトした瞬間の頤椎の動的な動作解析をおこなった。第2章、第3章からアメリカンフットボールにおける頤椎の形態学的な特徴や頤椎筋力の特徴は明らかになった。しかし、さらに頤椎の形態学的な変化がどのように出現するのかを解明するには、コンタクトした瞬間の頤椎の動的な挙動を知る必要があると思われ、著者は、第1回目のシネラジオグラフィーを用いた頤椎の動作解析実験を世界で初めて1988年におこない報告した<sup>(13)</sup>。この結果、コンタクトにより上位頤椎から順に動き始め、筋電図上、頤部の屈筋群と伸筋群はコンタクトの瞬間から同時収縮を開始することや、頭部を挙上した伸展位でコンタクトした場合、C2/3(第2頤椎と第3頤椎間)は衝突の直前からフィードフォワード的に一瞬、屈曲位に移動することなどを解明した。これらの結果、アメリカンフットボールにおけるコンタクトの際、頤部周囲筋は、同時収縮することにより頤椎柱を短縮させる軸圧として働き、頤椎列を安定化させていると考えた。さらに、解剖学的に頭部とC1、C2は強力な頭板状筋、頤半棘筋で胸郭上部にアンカーされており、頤椎のさまざまな形態学的な異常はC2/3以下の上位から中位頤椎に好発すると推論した<sup>(13)</sup>。

しかし、当時は解析に膨大な時間と労力がかかり、毎秒50コマの撮影しかできなかったこと、被験者が2名しかできなかったことなど精密な実験系として不満な点もあった。そこで、今回はコンピューターを用いた解析法を開発し、以下に述べるように、正確で詳細なデータをより少ない労力で解析することが可能になった。

### 4-1. 対象

大学アメリカンフットボール部に所属する現役男子部員4名を対象とした。それぞれの頤椎アライメントを明らかに示す者を各1名ずつ抽出し、同意のもとに実験をおこなった。各々の被験者の詳細を表4-1-1に記す。

表 4-1-1 被験者の特徴

被験者	A	B	C	D
頸椎アライメント	前弯	後弯	ストレート	S字状カーブ
ポジション	ディフェンスバック	オフェンスライン	ラインバッカー	ラインバッカー
性	男	男	男	男
年齢 (歳)	21.7歳	19.7歳	20.7歳	22.4歳
身長 (cm)	172cm	182cm	169cm	175cm
体重 (kg)	74kg	80kg	79kg	83kg

対象者に対する説明と実験参加への同意

今回の実験を行うにあたり、筑波大学医の倫理特別委員会に申請し、承認された（通知番号第18号、平成7年11月16日）。対象者には本研究の目的、方法、報酬と研究がもたらす可能性のある危険性とこの実験で予期せぬ傷害が発生した場合には、実施責任者が責任を持って対処することについて書面を配布して、同意を得た。

#### 4-2. 方法

ヘルメットを装着して特別に製作したコンタクト装置のボードから20 cm離れた位置から、地面と平行移動するように頭部をコンタクトさせ、その間、シネラジオグラフィーによる頸椎矢状面での撮影とロードセルによる衝撃力の測定を行った。同時に表面電極を胸鎖乳突筋、僧帽筋、腹直筋、脊柱起立筋（腰部）に貼り付け筋電計測を行った。撮影された映像をコンピューターに取り込み、第2頸椎から第6頸椎の椎体前方下縁と椎体後方下縁にデジタイジングし、画像解析ソフトを用いて頸椎の動的变化を解析した。

今回の実験では被験者の安全を第一に考慮し、被験者自身が衝撃力に耐えられる範囲でのコンタクトを行ったので、実際のコンタクト時に発揮される衝撃力までには至っていない。Torgが実際の試合中に軸圧下でのコンタクトで頸椎損傷を被った症例のビデオ分析から、頸椎に358 kg（約3508 N）から630 kg（約6174 N）の衝撃力がかかると計算している。今回の実験の衝撃力は、この約1/4から約1/10（約490から約980 N）に設定している。

##### 4-2-1. コンタクト装置と実験場所

志願者によるコンタクト時の頸椎椎体の挙動を解析するために、シネラジオグラフィーを使用した。シネラジオグラフィー装置は、筑波大学付属病院放射線部に設置されているため、設置場

所に合わせたコンタクト装置を独自で制作した。このコンタクト装置の仕様と概略図を図 4-2-1 に示す。

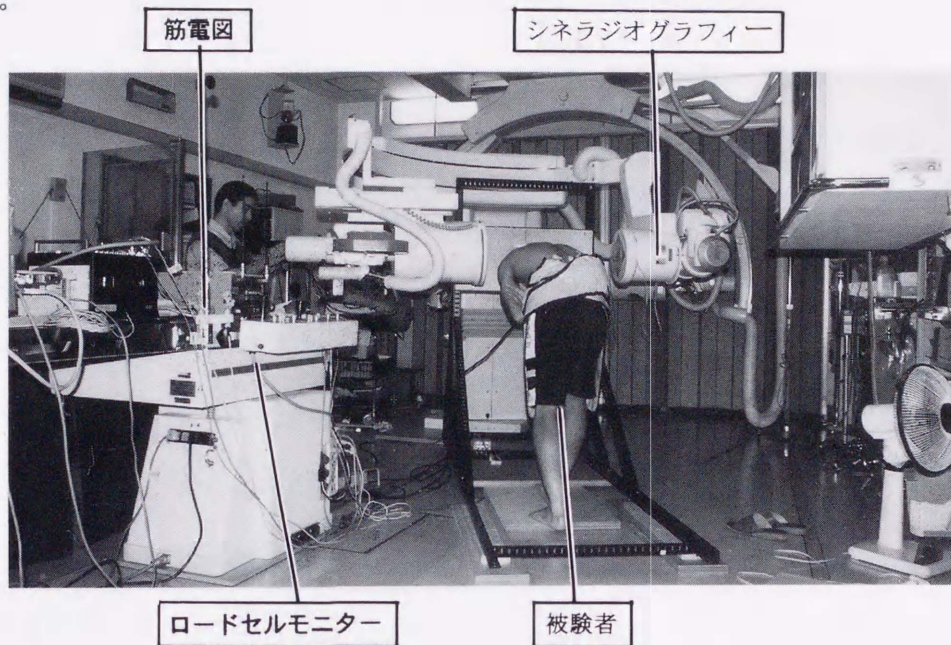


図 4-2-1. 実験風景

シネラジオグラフィー装置の設置場所に合わせたコンタクト装置を独自で制作した。

#### 4-2-2. 被爆放射線量

被爆放射線量は、シネラジオグラフィー 1 コマ当たり約 0.073mGy で、1 回のコンタクトで約 25 コマの撮影を行うため、1 回の実験を行った場合の総被爆量は被験者によって約 10.95 mGy から約 27.375 mGy となる。この線量で何らかの障害を生じることはないと考えるが、被爆線量が極力少なくなるように配慮した。(Gy: グレイ: 吸収線量は放射線を浴びたときに、物質が受け取るエネルギーの単位である。)

#### 4-2-3. 実験の概観

シネカメラ管球の直径 22 cm の範囲内で頸椎の挙動をとらえなければならないため、コンタクト装置や管球の位置を慎重に調整しながら再度コンタクトを繰り返した。このため全コンタクト回数は 42 回となった。

- (1) 画像撮影 -シネラジオグラフィー (連続レントゲン撮影装置)



### 1) 測定方法

臨床的には心血管造影に用いられている X 線連続撮影装置 (Cine-system : Angiorex ,Toshiba Medical Inc.Cine-camera:Arritechno35 ,NAC Inc.)を用いて毎秒 90 コマで頸椎挙動を撮影した。X 線照射撮影は、22 cm×22 cmの範囲である。この範囲内にコンタクト時の被験者の頸部が入るように位置調整をコンタクト装置にも施した。

### 2) 測定項目

頸椎屈曲、伸展、中間位での測定を行った。

なお、撮影に際しては耳介と肩峰を結ぶ線が地面と平行になる姿勢を頸椎中間位とした。また、屈曲位は中間位から頭部を 10° 屈曲させた肢位、伸展位は中間位から頭部を 15° 伸展させた肢位と定義し、同一技師が撮影を行った。

### 3) 解析方法

35 mmフィルムに記録されたシネラジオグラフィーの画像から、コンタクト直前数フレームから頸椎挙動が終わるフレームまでを CD-ROM(Eastman Kodak Company,Kodak Digital Science,Photo CD)に取り込み、パーソナルコンピューター (Apple,Inc.Power Macintosh7200)上で画像解析ソフト (Deneba System,Inc.CANVAS 3.5.2)を用いてデジタル化された。1枚の CD 画像には 2 フレーム分の頸椎像が収められ、解像度 768×512pixel のものを解析に使用した。

デジタル化に際して、あらかじめ各椎体の皮質骨と背景色との境界部に点を打ったテンプレートを作成 (図 4-2-2) し、これを頸椎画像に正確に一致させ、C2 から C6 の各椎体下縁前方と椎体下縁後方の 2 点での座標を求めた。この座標値より各椎体の水平面に対する角度 ( $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ ...)、コンタクト時の角度変化 ( $\alpha 2 - \alpha 1$ )、椎体の変位 (圧縮、すべり) を算出した。各椎体の変位は、椎体下縁前方点と後方点との中点の移動変位によって代表させることとした。(図 4-2-3、4-2-4)

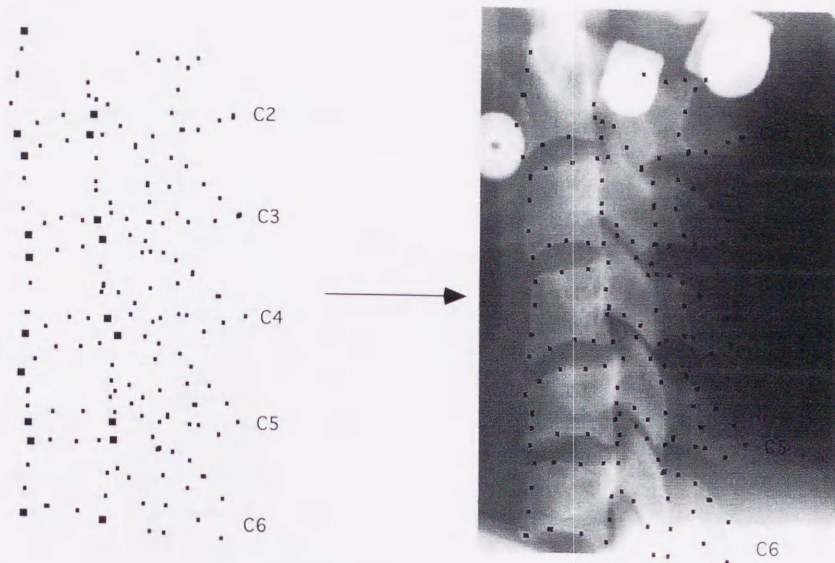


図 4-2-2. テンプレート法。

コンピューターの画面上で頸椎のテンプレートを作成し、シネフィルムと一致させて解析をおこなう方法。

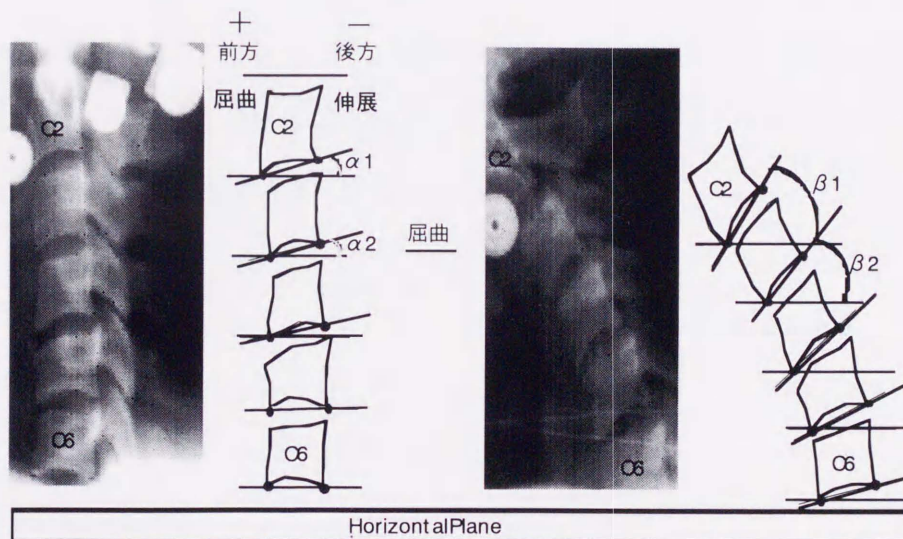


図 4-2-3. 頸椎椎体と椎間の回転角度変化（水平面を基準とする。）

回転方向は前方の回転（屈曲方向）を正方向、圧縮変位（X軸）の方向は圧縮した値を正方向、すべり変位（Y軸）の方向は前方への変位（伸展方向）を正方向とした。

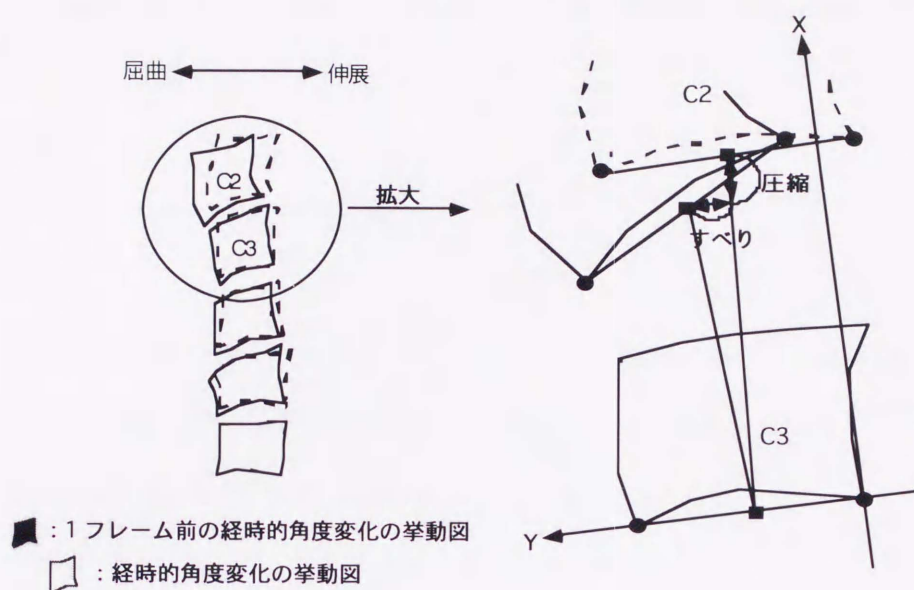


図 4-2-4. 頸椎椎体の圧縮変移とすべり変移  
上下椎体の圧縮変移とすべりを座標軸上で計測した。

X線照射範囲の制限から、C7椎体の抽出が困難であったため屈曲位、伸展位ではC2からC6までの椎体間、また中間位ではC6の抽出も困難なためC2からC5までの椎体間であらわした。

測定誤差を求めるために、被験者の衝突直後の画像フレームを用いて各椎体にそれぞれ10回の同一計測を行い、その標準偏差を測定誤差とした。

#### 4) 解析項目

以下の項目について解析を行った。

- (1) 頸椎各椎体および椎間の回転角度変化変位
- (2) 椎体圧縮変移<X軸>
- (3) 椎体間すべり変移<Y軸>

#### (2) 衝撃力測定 - ロードセル (荷重変換器)

##### 1) 測定方法

ヘルメットが、ボードに接する部位にロードセル(LUH-1TF:KYOWA Electronic Instruments CO.,LTD.Tokyo,Japan)を設置し、コンタクト時の荷重を経時的に測定した。

換算は、求める荷重 = (ひずみ測定器の出力  $\varepsilon \times 10^{-6}$ )  $\times$  (校正係数  $\text{kgf}/1 \times 10^{-6}$ )

の計算式に代入して計算した。

## 2) 測定項目

頸椎屈曲、伸展、中間位での測定を行った。

## 3) 解析方法

ロードセルで入力された値をパーソナルコンピュータ (Apple, Inc. Power Macintosh7200) 上の表計算ソフト (Microsoft Excel 5.0, Microsoft Corporation) で処理し、シネラジオグラフィーでの挙動に同期させて比較分析を行った。

## 4) 解析項目

シネラジオグラフィーから得られたコンタクト直後からの頸椎挙動とロードセルから得た荷重負荷値との相関を求めた。

# (3) 筋電計測

## 1) 測定方法

胸鎖乳突筋、僧帽筋、腹直筋、脊柱起立筋 (腰部) に表面電極を貼り付け、筋電波形を計測した。直径 5 mm の双電極を使用し、電極間の距離は約 2 cm として計測した。

## 2) 測定項目

頸椎屈曲、伸展、中間位での測定を行った。

## 3) 解析方法

筋電計で取り込まれた値をパーソナルコンピュータ (Apple, Inc. Power Macintosh7200) 上の筋電解析ソフト (Acqknowledge3.2, BIOPAC Systems, Inc. ACK100) を用いて解析した。

## 4) 解析項目

コンタクト直前から得られた筋電波形、シネラジオグラフィーから得られた頸椎挙動とロードセルの荷重負荷値における比較分析を行った。

#### (4) 各計測項目の同期

ヘルメットがボードに接する部位に接点を作成し、ここで通電することによりシネラジオグラフィ、ロードセル、各電気計測装置に信号を入力させ、衝突の瞬間を同期した。また、シネラジオグラフィのコマ送りは毎秒 90 コマであるため、衝突の瞬間からのコマ数で衝突からの経過時間を算出した。

#### (5) コンタクト時の頸椎挙動に影響を及ぼす因子

実際のアメリカンフットボールにおけるコンタクト時に、選手の頸椎挙動に影響を与える因子としては以下の項目が挙げられる。

- 1) 衝撃力の大きさと方向：コンタクトする速度と角度、またコンタクトする相手の同様の条件
- 2) 選手の姿勢：頭部-頸部-体幹-下肢の位置関係
- 3) 選手の筋力：全身の筋力の大小
- 4) コンタクト時の予測（意識）：頸部筋群の収縮の有無
- 5) 頸椎補助装具（過伸展防止）：ネックロールの有無
- 6) 選手の頸椎特性の個体差：頸椎アライメント、頸椎変形性変化の有無

今回おこなった実験では、選手の姿勢とコンタクト時の角度のみ規定し、コンタクト時の屈曲位、中間位、伸展位での頸椎挙動の傾向を把握した。

### 4-3. 結果

これらの実験からそれぞれの項目について以下のような結果を得た。

#### 4-3-1. 頸椎各椎体および椎間の回転角度変化

##### (1) 頸椎中間位コンタクトポジションの際の椎体と椎間の回転角度変化

頸椎の静的なアライメントの異なる4名の被験者間で共通する挙動として、C 2/3 と C 3/4 が衝突後反対方向へ回転することが観察できた。また、上位から下位椎体に順に回転を開始し、上位椎体および上位椎間ほどその回転角度は大きかった。

代表例 (N.T.N) を示す (図 4-3-1)。椎体は上位から順に下位に屈曲方向へ回転し始めた。一方 C 3/4 は伸展方向へ移動したが C 2/3、C 4/5 は逆に屈曲方向へほぼ同時に回転し始めた。この動きを C 3/4 の “paradoxical movement” と呼ぶことにする。

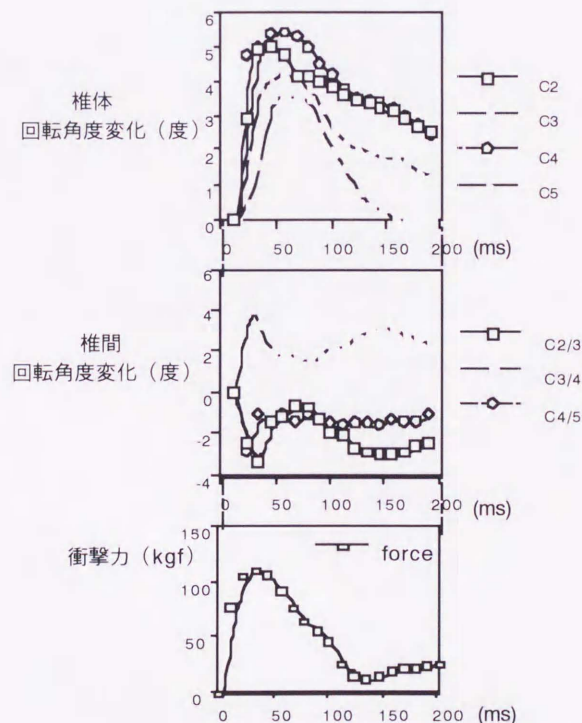


図 4-3-1 椎体、椎間の回転角度変化  
椎体は上位から順に下位に屈曲方向へ回転した。  
また C 3/4 は伸展方向へ移動したが C 2/3、C 4/5 は  
逆に屈曲方向へほぼ同時に回転し始めた。

## (2) 頸椎屈曲位コンタクトポジションの際の椎体と椎間の回転角度変化

頸椎椎体の回転角度は、4名の被験者に共通してコンタクト直後からまずC2、C3が大きく屈曲方向へ移動した。

頸椎椎間の回転角度変化は、C3/4とC2/3で最も大きかった。

頸椎屈曲位コンタクトポジションの際の代表例(H.M.F)の椎体および椎間の回転角度変化を示す(図4-3-2)。頸椎椎体の回転角度ではコンタクト直後から、C2に次いでC3が大きく屈曲を開始し、約78msで最大となり、139msまで変化せず、その後緩やかに減少した。C4は、コンタクト直後から緩やかに屈曲し続けた。

頸椎椎間の回転角度変化では、コンタクト直後からC2/3、C3/4が屈曲方向に大きく回転移動し、次いでC3/4、C4/5が同じ方向に回転移動を開始した。

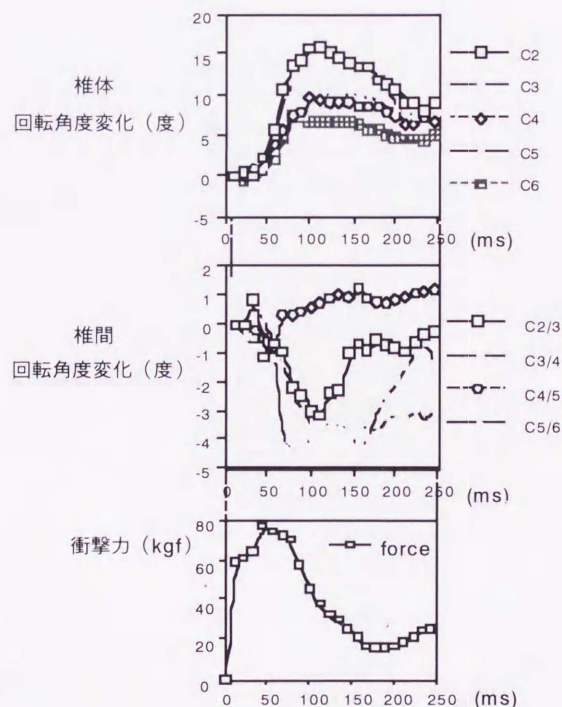


図 4-3-2 椎体、椎間の回転角度変化  
コンタクト直後から、C2ついでC3が大きく屈曲を開始し、約78msで最大となった。その後、139msまで変化せず、緩やかに減少した。

### (3) 頸椎伸展位コンタクトポジションの際の椎体と椎間の回転角度変化

4名中3名の頸椎椎体の回転角度はコンタクト直後からC2、C3が大きく伸展方向へ移動した。また2例(H.M,U.K)で下位頸椎(C5、C6)が軽度屈曲方向へ移動していた。

椎間の回転角度変化はコンタクト直後からC2/3は伸展方向に2.5度回転したが、C3/4は逆に屈曲方向へ3.5度移動した(C3/4のparadoxical movement)。

頸椎伸展位コンタクトポジションの際の代表例(U.K.E)の椎体と椎間の回転角度変化を示す(図4-3-3)。頸椎椎体の回転角度は、コンタクト直後からC2に次いでC3が大きく伸展を開始した。第4頸椎は100ms以降はじめて伸展方向に回転を開始した。C5、C6はコンタクト後、軽度屈曲方向への移動が認められた。

椎間の回転角度変化は、コンタクト直後にC5/6が屈曲方向に回転し、一方C4/5は伸展方向に回転を開始し、100ms付近からC2/3、C3/4、C4/5が伸展方向に大きく回転移動したがC5/6はほとんど変化しなかった。

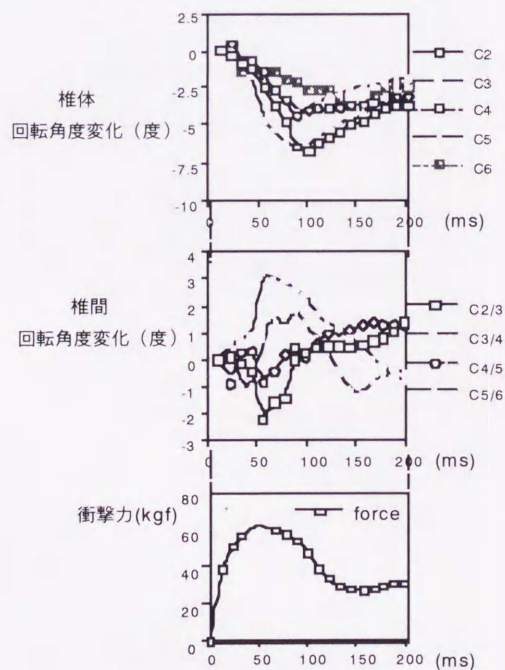


図 4-3-3 椎体、椎間の回転角度変化

コンタクト直後からC2、C3が大きく伸展方向へ回転した。

第4頸椎は100ms以降はじめて伸展方向に回転した。

C5、C6はコンタクト後、軽度屈曲方向へ移動した。



#### 4-3-2. 椎間圧縮変位< X 軸 >

##### (1) 頸椎中間位コンタクトポジションの際の椎間圧縮変位

4名中3名の被験者ではC 2/3 またはC 3/4 の圧縮変位が最も大きかった。

##### (2) 頸椎屈曲位コンタクトポジションの際の椎間圧縮変位

4名の被験者に共通して、C 2/3 またはC 3/4 での圧縮変位が最も大きく認められた。頸椎屈曲位コンタクトポジションの際の代表例 (H.M.F) の圧縮変位を図 4-3-4 に示す。コンタクト直後からC 2/3 での圧縮が大きくなり、約 100ms で最大値を示した。次いでC 3/4、C 4/5 で圧縮が大きかった。C 5/6 での圧縮はほとんど認められなかった。

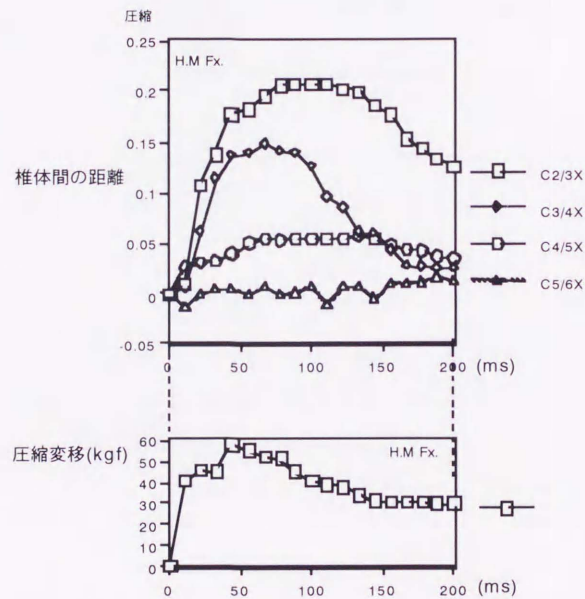


図 4-3-4 椎体の圧縮変位

コンタクト直後からC 2/3、次いでC 3/4、C 4/5 での圧縮が大きくなり、約 100ms で最大値を示した。

### (3) 頸椎伸展位コンタクトポジションの際の椎間圧縮変位

4名の被験者に共通して、C 2/3 での大きな圧縮変位が認められた。

頸椎伸展位コンタクトポジションの際の代表例 (N.T.E) の椎間圧縮変位を図 4-3-5 に示す。

コンタクト直後から C 2/3 での圧縮が大きく、約 78ms で最大の値を示した。次いで C 5/6、C 3/4、C 4/5 の順で圧縮が大きかった。

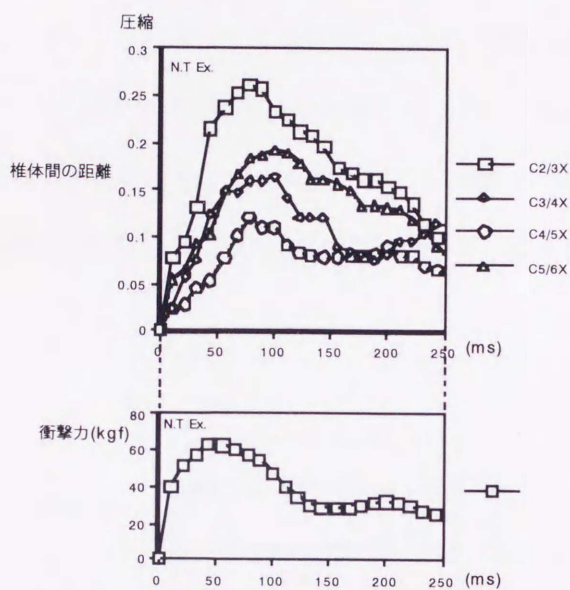


図 4-3-5 椎体の圧縮変位

コンタクト直後から C 2/3、C 5/6、C 3/4、C 4/5 の順での圧縮が大きく、約 78ms で最大の値を示した。

### 4-3-3. 椎体間すべり変位<Y軸>

#### (1) 頸椎中間位コンタクトポジションの際の椎体間すべり変位

4名の被験者に共通して、C 2/3 での屈曲方向への大きなすべり変位がコンタクト直後から認められた。

#### (2) 頸椎屈曲位コンタクトポジションの際の頸椎椎体間すべり変位

4名の被験者に共通して、C 2/3 での屈曲方向へのすべり変位が最も大きく認められた。

代表例 (A.T F) のコンタクト後のすべり変位を図 4-3-6 に示す。コンタクト直後から C 2/3 での屈曲方向へのすべりが始まり、約 100ms で最大の値を示した。次いで C 3/4、C 4/5 がすべり始めたが、そのすべり程度は C 2/3 の約 1/2 であった。C 5/6 でのすべりはほとんど認められなかった。

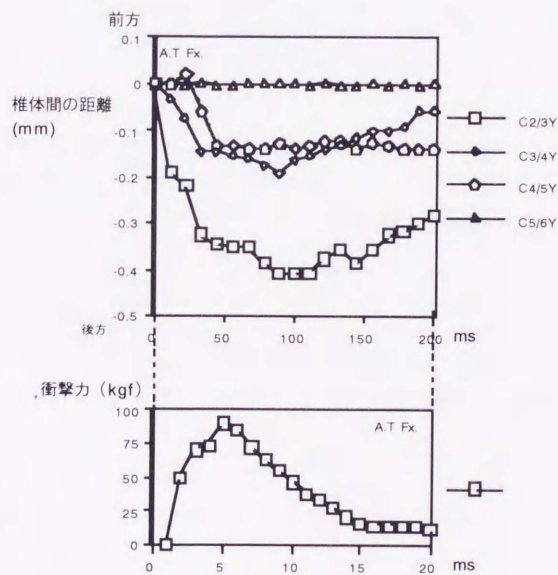


図 4-3-6 椎体のすべり変位

まず、C 2/3 での屈曲方向へのすべりが始まり、約 100ms で最大の値を示した。

### (3) 頸椎伸展位コンタクトポジションの際の頸椎椎体間すべり変位

4名の被験者に共通して上位の頸椎椎体間から順に伸展方向へのすべりが始まった。すべり程度も上位頸椎ほど大きかった。

代表例(N.T.E)のコンタクト後のすべり変位を図4-3-7に示す。コンタクト直後からC 2/3でのすべりが始まり、約89msで最大の値を示しその後も同等のすべりを示し続けた。次いでC 3/4、C 5/6の順ですべりが始まったが、C 5/6でのすべりはほとんど認められなかった。

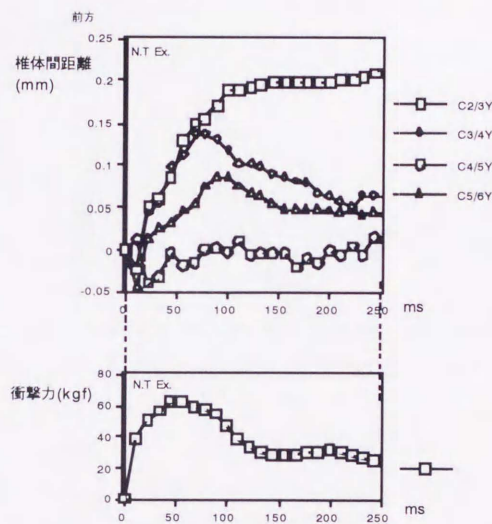


図 4-3-7 椎体のすべり変位

まず、C 2/3 でのすべりが始まり、約 89ms で最大の値を示した。

#### 4-3-4. 衝撃力の測定結果

頤椎中間位コンタクトポジションの際の衝撃力が最も大きく、最大で118kgf（約1156 N）の力がコンタクト後約40 msで出現した。頤椎屈曲位および伸展位コンタクトポジションの際の衝撃力はコンタクト後約50 msで最大で90-100 kgf（882-980 N）の力を記録した（図4-3-8）。

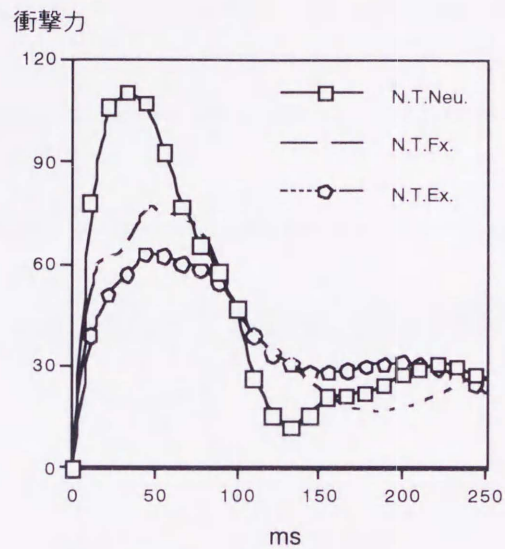


図4-3-8 コンタクト時の衝撃力

N.T. : 被験者名。Neu. : 中間位コンタクト。Fx. : 屈曲位コンタクト。  
EX. : 伸展位コンタクト。頤椎中間位コンタクトポジションの際の衝撃力が最も大貴買った。コンタクト後約40 msで118kgf（1156 N）の力が出現した。

#### 4-3-5. 筋電図

衝突前は頸部伸筋群のみに認められた筋放電が衝突直前に屈筋群の筋放電が始まり、衝突と同時に、頸部屈筋群、伸筋群、腹筋、背筋にひろがり、同時収縮しているのが観察できた（図4-3-9）。

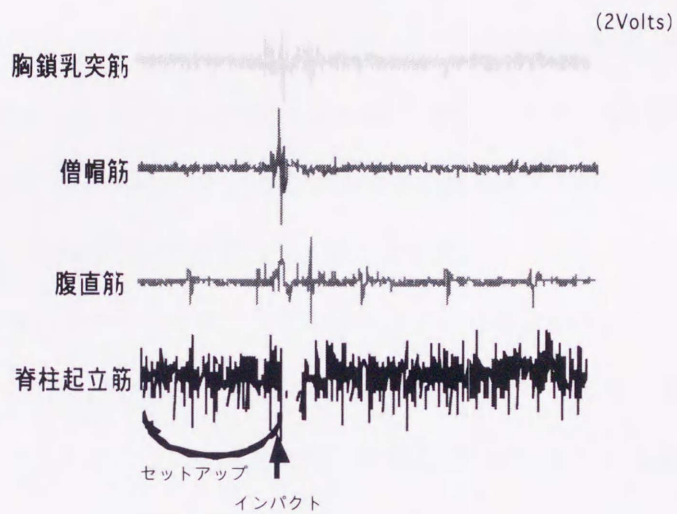


図 4-3-9 コンタクト時の筋電図

衝突前は頸部伸筋群のみに認められた筋放電が衝突直前に屈筋群の筋放電が始まった。

#### 4-4. 考察

##### 4-4-1. 頸椎椎体および椎間の回転角度変化

Torgらはシネマトグラフィーを用いた挙動解析や、in vitroにて挙動解析を行い、頸椎への軸圧が頸部傷害（頸椎損傷、頸髄損傷）を惹き起こす最も危険な要因であることを報告した。

本研究で各椎体および椎間の挙動を定量的に解析したところ、頸椎中間位コンタクトポジションでの回転角度変化は、コンタクト直後にはC 2/3とC 4/5は屈曲方向に回転し始めるが、C 3/4は伸展方向に回転し（C 3/4のparadoxical movement）、コンタクト後約100ms付近からC 3/4、C 4/5が屈曲方向へ移動した。頸椎中間位での頸椎椎体の角度変化は、最大で被験者A.TのC 2の約6度、頸椎椎間の角度変化は、最大で被験者H.MのC 3/4の約8度と小さく、角度変化によって衝撃力を十分に分散できていないことが推察された。力学的に頸椎椎体がストレートに位置することが最も衝撃力が伝わりやすいポジションである。衝撃力測定結果でも頸椎中間位でのコンタクトポジションで最も強い衝撃力が発揮されている傾向が認められている。頸椎中間位、すなわち頸椎柱が槍状のストレートになるため軸圧力が頸椎椎体および椎間板に大きくかかりやすく、衝突直後のC 3/4のparadoxical movementの影響もあり、中位頸椎での圧迫・粉碎骨折などが引き起こされる可能性も高い。一般にスポーツによる外傷性の頸椎の骨折、脱臼は下位頸椎に好発し、中位頸椎には稀とされている。Bohlmanは300件の頸部傷害のうち中位頸椎(C3-C4)の損傷は6件と報告している<sup>(22)</sup>。ところが、アメリカンフットボールでは中位頸椎損傷が特徴的であるとの報告がある<sup>(17) (20)</sup>。この頸椎中間位コンタクトポジションが頸部の固定、つまり頸部屈筋群と頸部伸筋群の同時収縮が最も強く起こるポジションであり、軸圧がかかるコンタクトで頸椎損傷、頸髄損傷の頸部傷害の受傷機転となることが多いと考えられる。すなわち、アメリカンフットボールにおいて“spearing（スピアリング）”が危険であることを運動学的な観点から示すことができた。

頸椎屈曲位コンタクトポジションの際の回転角度変化では、コンタクト直後からC 2、C 3椎体自体の角度変化は大きいですが、C 2/3椎間のコンタクト直後の角度変化は小さかった。その後100ms付近から、C 3/4、C 4/5椎間での最大の後方開大傾向が認められた。さらに、下位の

頸椎椎間で後方開大が認められた。ラグビーでの頸部傷害は屈曲強制損傷が最も多いが、その損傷好発部位はC 5、次いでC 4であり、本研究でも頸椎屈曲位コンタクトでは、C 4からC 5頸椎および椎間にストレスがかかりやすいことが判明した。

頸椎伸展位でのコンタクトの際は、衝突直前からフィードフォワード的に胸鎖乳突筋などの頸部屈筋群を収縮させ、過伸展強제를抑制していると思われる挙動が観察できた。また、コンタクト直後にC 2/3での動きが認められた後、C 4/5、C 5/6で最大の前方開大が認められた。頸部の伸展方向への移動では頸椎損傷・頸髄損傷を起こしにくいとされている。これは、解剖学的に椎体後部下縁が隣接する下位椎体の上椎間関節にぶつかるためである。しかし、この過伸展の動作を繰り返すと椎間関節傷害（facet impingement）や椎体後縁の骨棘の発生や、頸椎可動域の制限や椎間孔狭窄の原因となる可能性もある。しかも、アメリカンフットボールでは、コンタクトの際に過伸展強制されることが多いので、ネックロールなどの装具の面からも過伸展しないように安全を確保することが重要である。

このように、頸椎屈曲位と伸展位で最大のストレスのかかる位置が変わることが明らかにされた。これは両コンタクトポジションにおいて、コンタクトした瞬間には頭部が接触したところから最も距離的に近いC 2/3での角度変化が現れ、最大衝撃力の付近では頸椎中間位だと中位頸椎付近、屈曲位および伸展位だと下位頸椎付近に角度変化が現れたと考える。つまり、上位頸椎の椎体間から順に角度変化が起こることで、衝撃力を分散させていることが考えられる。頸椎中間位でC 2/3とC 3/4が逆方向に回転するパターンでは、コンタクト後に衝撃力を分散させるように角度変化がうまく行われず、しかも実際のコンタクトの際に発揮される衝撃力は今回の実験の数倍以上なので、最大ストレスがかかる前のコンタクト直後に認められるC 3/4での角度変化が起こる際に、衝撃力に耐えることができず頸椎損傷が起こることが推測される。

松元他はシーズン前に比べてシーズン後では頸椎椎体間での角度の総和が小さくなっていることを報告している<sup>(55)</sup>。この要因としては、骨棘などの頸椎変形性変化や後縦靭帯骨化が生じたことや繰り返しのコンタクトで頸部周囲筋が慢性的に緊張しており、コンタクトの際に衝撃力をうまく分散できていないことが考えられる。後者に関して、少なくとも頸部周囲筋群が慢



性的に緊張している選手などには、特に柔軟性を回復させるトレーニングも必要と思われる。同時に著者他の報告しているとおり、頸部周囲筋群を鍛えることが重要と思われる<sup>(34)</sup>。しかも実際のコンタクトでの頸部筋力の発揮様式は受動的 (passive) なパターンが多く、現在一般的に普及している等尺性 (isometric) トレーニング、求心性 (concentric) や遠心性 (eccentric) トレーニングだけでは頸部傷害発生を予防するには不十分かもしれない。瞬間的にタイミング良く筋力が発揮されるようなトレーニングを行う必要があると考える。しかし最も大切なことは、頸椎にできるだけ衝撃がかからないコンタクトをすることである。

#### 4-4-2. 椎間圧縮変位と椎体間すべり変位

C 2/3、C 3/4 から順に尾側方向に下位頸椎椎間に圧縮、すべり変位が出現することが判明した。圧縮変位に関しては、頸椎中間位コンタクトポジションでは一定の傾向は認められなかったが、頸椎屈曲位と伸展位コンタクトポジションでは、C 2/3、C 3/4 で最も大きい圧縮変位が発生した。しかし、上位頸椎椎間から下位頸椎椎間に一様に圧縮変位が起こるわけではなく、ばらつきが認められた。すべり変位に関しては、全コンタクトポジションでC 2/3、C 3/4 ですべり変位が最も大きかった。しかし、上位頸椎椎間から下位頸椎椎間に一様にすべり変位が起こっているわけではなかった。

今回の実験では被験者の安全を第一に考慮し、被験者自身が衝撃力に耐えられる範囲でのコンタクトを行ったので、実際のコンタクト時に発揮される衝撃力までには至っていない。そのため変位自体が小さいことも考慮しなければいけない。Torg が実際の試合中に軸圧下でのコンタクトで頸椎損傷を被った症例のビデオ分析から、頸椎に 358 kg (約 3508 N) から 630 kg (約 6174 N) の衝撃力がかかると計算している。今回の実験の衝撃力は、この約 1/4 から約 1/10 (約 490 から約 980 N) に設定している。

力学的に衝撃力は上位頸椎椎間から起こる角度変化によって分散されていると考えられる。同時に発生する圧縮力、剪断力も上位椎体で大きかった。第 2 頸椎には、頭部、第 1 頸椎から強力な頭板状筋、頸半棘筋が付着し、これらの筋収縮が頸椎柱を短縮させる軸圧として働いてい

ることが考えられる。頸椎屈曲位や伸展位でコンタクト直後にC 2/3に角度変化が現れたこともふまえると、コンタクト直後にこの部分に角度変化、圧縮、すべり変位の要素が絡んで慢性の上位頸椎損傷が生じる可能性が示唆された。しかし、実際のコンタクトで圧縮、すべり変位がどの程度起こっているのか現在のところ不明であり今後の検討課題である。

#### 4-4-3. 頸椎アライメントとの関連

頸椎伸展位コンタクトポジションの際に、静的な頸椎アライメントが前弯を示す選手では、すべての頸椎で衝撃力が均等に分散できることが推定できた。しかし、頸椎後弯のアライメントを示した被験者U.Kと頸椎S字状カーブのアライメントを示した被験者H.Mでは上位頸椎が伸展方向に移動しているにもかかわらず、下位頸椎は屈曲方向に移動する複雑な挙動が観察できた。このような場合、衝撃力はうまく分散できず、中位頸椎に集中することが予想される。

頸椎中間位コンタクトポジションでは、C 2/3とC 3/4が反対方向へ回転する現象が観察できた。頸椎後弯のアライメントを示す選手が中間位でコンタクトをすると、頸椎柱はストレートになるので軸圧が生じ、重大な頸髄損傷を発生しかねないことが考えられた。また、S字状アライメントの選手が頸椎中間位で頭頂部からコンタクトした場合、頸椎柱はあたかもアコーディオンのように弯曲し、その弯曲点に衝撃力が集中することが推測される。

このように静的なアライメントに問題がある選手（S字状カーブ、後弯、角状後弯）が、頸椎中間位でコンタクトすると頸髄、頸椎の重大事故が発生する危険性が高いと考えられる。重大事故に至らなくても衝撃吸収が分散できないことが判明したので、反復性の微小外力により頸椎の変形性変化が発生する可能性が高いと思われた。

#### 4-4-4. 本実験の特徴

本実験の特徴は、コンタクト時の頸椎の挙動をシネラジオグラフィーで撮影し、その画像をパーソナルコンピューターに取り込み、テンプレート法を用いて動作解析した点である。もともとシネラジオグラフィーは自動運動のように遅い動きであれば、得られる画像の画質は良いが、コンタクト時の挙動のように速い動きでは、シネカメラの撮影フィルムが毎秒90コマと制

限されているために、自動運動時の画像に比較して画質が劣る。しかし、テンプレート法ではシネフィルム画像をデジタル化し、コンピューター上で画像解析ソフトを用いて解析を行うことにより、精度の高い解析が行えるようになった。本研究でも、測定誤差は、水平方向（0.18 mm）、垂直方向（0.17 mm）、回転角度（0.51度）と、in vivoでの挙動解析では1988年の実験と比較して精度が高くなった。

本実験で用いたシネラジオグラフィー装置は、筑波大学付属病院に設置されているため、実験日時、実験時間、急患搬入時の装置の撤去の問題などの制限が生じた。そのため実験は病院業務のない休日で、装置は20分で撤収できるようにした。また被験者には予備実験として3回にわたる事前練習と、1回の筋電計測を行った。しかし、シネカメラの直径は22 cmと範囲が狭く、その範囲内で頸椎挙動を観察することは困難であった。そこで、ビデオモニターで1回毎の挙動を確認し、微調整を行い、うまくコンタクトポジションを取れない被験者には測定者が手でコンタクトポジションの誘導を行った。しかし、被爆放射線量の問題、被験者の負担の問題から繰り返し実験を行うことは好ましくないので限られた画像から解析せざるを得ないものもあった。

#### 4-5. 小括

アメリカンフットボールにおけるコンタクトプレー時の頸椎の動作解析を（1）頸椎各椎体および椎間の回転角度変化変位、（2）椎体圧縮変移<X軸>、（3）椎体間すべり変移<Y軸>、（4）衝撃力測定に関して実施した。

#### 結果

（1）コンタクトにより上位頸椎から順に動き始めた。

（2）頸椎中間位コンタクトポジションの際の椎体と椎間の回転角度変化では、頸椎の静的なアライメントの異なる4名の被験者間で共通する挙動として、C 2/3とC 3/4が衝突後反対方向へ回転すること「C 3/4の“paradoxical movement”」が観察できた。

（3）筋電図上、頸部の屈筋群は衝突の直前から、伸筋群はセットアップの時点から収縮しており、衝突の瞬間から同時収縮を開始した。

以上の研究結果から、アメリカンフットボールにおけるコンタクトの際、頸部周囲筋群は同時収縮することにより頸椎柱を短縮させる軸圧として働き、頸椎列を安定化させていると考えた。さらに、解剖学的に頭部とC 1、C 2は強力な後頭下筋群（頭板状筋など）、頸半棘筋で胸椎上部にアンカーされており、頸椎のさまざまな形態学的な異常はC 3/4を中心とする頸椎に好発すると考えた。

## 第5章 総括

研究課題の結果の概要を述べる。

### 5-1. 要約

#### 5-1-1. 頸椎のX線学的研究

##### (1) 頸椎アライメントの縦断的变化

まず、アメリカンフットボール活動によって引き起こされる頸椎X線像の変化を縦断的に観察した。対象は1990年から1994年の間に筑波大学に入学し、4年間アメリカンフットボール部に所属し、頸部筋力や身体測定データのそろった選手71名である。対象は、アメリカンフットボールを入学後に初めて開始した男子学生である。

方法は毎年1回実施された頸椎X線を評価することと、頸部痛に関する調査を行った。

その結果、4年間のアメリカンフットボール活動によって頸椎のアライメントが変化した選手は71名中37名(52.1%)であった。前弯の割合は、ライン群の1年次が56.7%から4年次には38.0%に減少し、バックス群では1年次が52.9%で4年次には61.7%に増加した。(図2-2-2: 再掲) 1年次の頸椎のアライメントが後弯やS字状を示した選手は、4年間にそれぞれ100%、70.0%の頻度で頸部痛を経験していた。

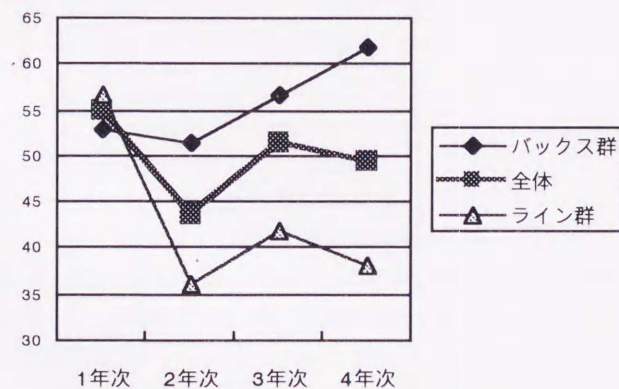


図2-2-2 再掲 前弯の割合の変化 (縦軸: %)

頸椎アライメントが前弯だった選手の割合の学年における推移は1年次が54.9%から4年次には49.5%となった。ライン群は1年次が56.7%から4年次には38.0%となり、バックス群は1年次が52.9%から4年次には61.7%となった。

## (2) 頸椎の変性所見と狭窄症

X線上変性変化（骨棘、すべり）がC3/4、C4/5を中心とした部位に高学年になるほど多く観察された。椎管狭窄（Pavlov's ratio<0.8）を呈した選手は13名（18.3%）であり、このうち9名（69.2%）が頸部傷害を引き起こした。また、一過性四肢麻痺をおこした選手が4名いた。

同じスポーツ環境下の集団の頸椎X線を4年間にわたり縦断的に経過観察した研究は過去にはなく、アメリカンフットボール活動によって頸椎のアライメントは変化しうることが初めて判明した。もともとの頸椎アライメントが後弯やS字状であり、椎管狭窄もある選手は重大な頸部傷害を引き起こしやすい。

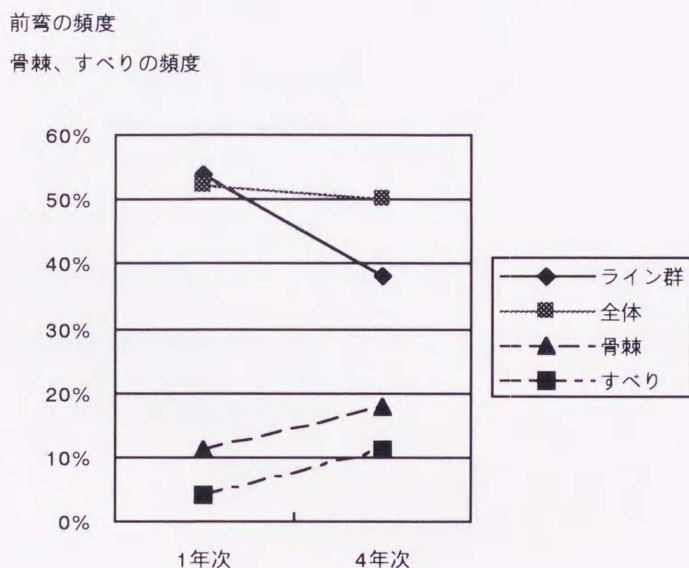


図5-1-1. 頸椎X線所見の縦断的变化

ライン群と全体（対象群）はそれぞれの群のなかで前弯の占める割合を表した。

骨棘とすべりは対象群のX線調査での発現頻度を表した。

### 5-1-2. 頸部筋力の研究

次に、同じ対象のアメリカンフットボール選手の頸部筋力が経時的にどのように変化していくのかを検討し、頸部外傷の有無や頸椎アライメント変化との関係を調査した。

その結果、4年間の間に頸椎アライメント変化が52.1%の選手に認められたが、明らかな外傷の有無との関係は認められなかった。また、アライメントが前弯から変化した群(前弯消失群)の頸部屈曲力/伸展力比の増加率は20.5%で無変化群のそれは0.9%となり筋力の屈曲力・伸展力比の変化が頸椎のアライメント変化と関連があると思われた。

屈曲力/伸展力比

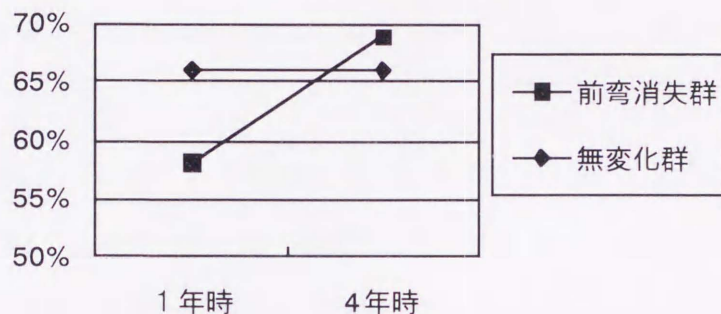


図5-1-2. 頸部筋力の推移(屈曲力と伸展力の比)

前弯消失した群の頸部筋力(屈曲力/伸展力比)は4年間で増加したが、アライメントが変化しなかった群のそれは変化がなかった。

アメリカンフットボールの活動によって頸椎のアライメント変化が出現することが判明したが、これは頸部に受けた直接の外傷や繰り返す微小外力だけではなく頸部筋力比の変化や深頸筋群の筋肥大などが関与していると推測された。

### 5-1-3. 頸椎の運動学的研究

最後に頭部コンタクト時の頸椎の動作解析をおこなった。

その結果、1) コンタクトにより上位頸椎から順に動き始めること、2) 頭部を拳上した伸展位で衝突した場合、C 2/3は衝突の直前からフィードフォワード的に屈曲方向に回転する一方でC 3/4は逆に伸展位方向に回転すること(C 3/4の paradoxical movement)、3) 筋電図上、頸部の屈筋群は衝突の直前から、伸筋群はセットアップの時点から収縮しており、衝突の瞬間から同時収縮を開始することなどが判明した。これらの結果、アメリカンフットボールにおけるコンタクトの際、頸部周囲筋群は同時収縮することにより頸椎柱を短縮させる軸圧として働き、頸椎列

を安定化させていると考えた。さらに、解剖学的に頭部とC 1、C 2は強力な後頭下筋群（頭板状筋など）、頸半棘筋で胸椎上部にアンカーされており、頸椎のさまざまな形態学的な異常はC 3/4を中心とする頸椎に好発すると考えた。

## 5-2. 共分散構造分析法を用いた各要素の検討

以上の研究の結果を総合して統計学的に検討した。

### 5-2-1 目的

これまでの結果をもとにアメリカンフットボールの経験年数や筋骨格系などの個体差が頸椎のアライメントにどのような影響を与えているかを、1) 頸部筋力、2) 頸椎の変形性変化、3) 脊柱管狭窄症などの要素を組み合わせる総合的に要因分析することである。

### 5-2-2 統計解析方法

因果構造モデルの検証には、共分散構造分析法を用いた<sup>(71) (72) (73)</sup>。パラメータの推定は漸近的分布非依存法による最小二乗法を用いた。モデル適合度指標には、カイ2乗値、GFI (goodness of fit index)、AGFI (adjusted GFI)を用いた。データ解析には、アプリケーションソフトSPSS9.0JおよびAmos4.0Jを使用した。

### 5-2-3 仮説構造

各項目を以下の表のように設定して、仮説を構成した（表5-2-1）。すなわち、アメリカンフットボールの経験年数と筋骨格系などの個体差が頸部筋力比、頸椎変形性変化、および脊柱管狭窄症に何らかの影響を及ぼしていると仮定した。さらにこれらの要素がからみあって、頸椎のアライメントの変化をおよぼしていると考えた。

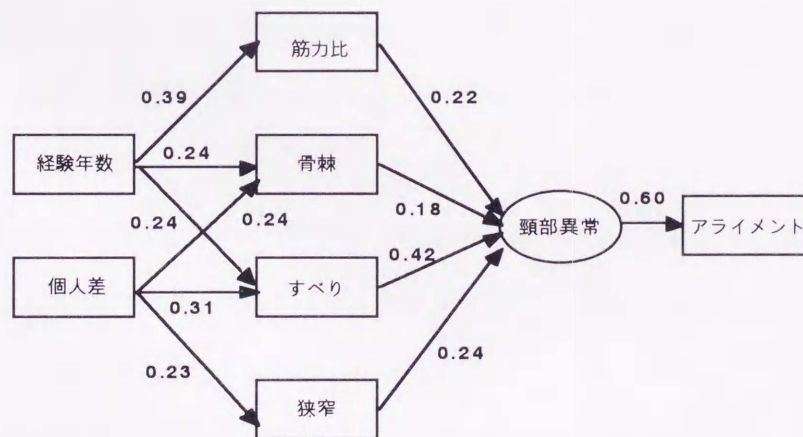


表 5-2-1 各項目の説明

項目	説明
アライメント	前弯、後弯、ストレート、S 字状カーブ、角状後弯の各アライメント
頸部異常	筋力比、骨棘、すべり、狭窄の 4 つの合成変数
筋力比	頸部筋力の屈曲力/伸展力比
骨棘	頸椎 X 線上の変形性変化
すべり	頸椎 X 線上の変形性変化
狭窄	頸椎の脊柱管狭窄症
経験年数	アメリカンフットボール活動を継続した 4 年間
個人差	筋骨格系を中心とした個人差

#### 5-2-4 結果

アメリカンフットボールの経験年数は頸部筋力比の変化や骨棘の出現やすべりの出現に有意な影響を与えていた。また、形態学的な個人差は骨棘の出現やすべりの出現や脊柱管狭窄の有無に有意な影響を与えていた。これら 4 つの観測変数を統合した構造変数である頸部異常は、頸椎のアライメントの変化と有意な因果関係があった (図 5-2-1)。



GFI=.999 AGFI=.996 Chi-SQ=3.626 (p=.822, DF=7)

図 5-2-1 共分散構造分析法を用いた各要素の検討

### 5-2-5 考察

共分散構造分析は、現象に潜む因果関係を統計的に検証する手法の1つである。特に、スポーツや健康に関わる社会科学的分野における現象の因果関係を統計的に分析する場合に有用である。スポーツや健康の社会現象を統計的に取り扱う分野では、直接的に計測することができない多くの構成概念の計量と、構成概念間の関係性の計量を研究対象としているのが特徴である。共分散構造分析は、研究者の独自の立場で自由に因果関係モデルを設定し、これを検証し、因果関係の程度を係数で明確に表現することを通して、構成概念間の因果関係を明らかにすることができる。すなわち、共分散構造分析は直接観測できない潜在変数を導入し、その潜在変数と観測変数との間の因果関係を同定することにより、社会現象や自然現象を理解するための統計的アプローチである<sup>(71)</sup>。

共分散分析の手順は、一般的に以下の6ステップで実行される<sup>(73)</sup>。

- ① 仮説の設定、② データの収集、③ モデルの構成、④ 分析の実行、⑤ 結果の判定、⑥ モデルの修正・改良

共分散構造分析の目的は仮説の検証にあるので、検証すべき仮説を設定することから始める。次にその仮説の検証に必要な観測変数を設定し、データを収集する。次に仮説を表現するモデルを構成する。

モデルの構成は、仮説に基づいて分析対象の因果関係をパス図に表現する。慣習的に、構成概念は構造変数として楕円で表示する。観測変数は長方形で、誤差変数は円で表示する。因果関係は単方向矢印で、相関関係は双方向矢印で表示する。

この共分散構造分析法を用いて、アメリカンフットボールの頸椎のX線所見と頸部筋力の縦断的な変化を検討したところ、アメリカンフットボール経験年数が長いほど頸部筋力比は変化し、骨棘出現やすべりなどの変形性変化の出現頻度が増すことが判明した。また、変形性変化の出現には筋骨格系などの個人的な特徴の差も影響を与えていたが、狭窄症は個人差によるものである。頸部筋力比、変形性変化、狭窄などの合成変数である頸部異常が頸椎のアライメントの変化に影響を与えていることが判明した。

### 5-3. 本研究の特徴

以下の5点を本研究の特徴としてあげたい。

#### 5-3-1. 縦断的に多角的なデータを収集できた。

本研究の対象群は定期的なX線検査と筋力測定、メディカルチェックなどに全員が参加でき、縦断的なデータを収集することができた。4年間にわたり、縦断的に頸椎の形態異常を多角的にとらえた報告は過去に例はない。これには、ひとりのチームドクターが学生トレーナーやレントゲン技師やコーチとともに長期にわたり毎年、同じ時期に同じ形式でデータを収集できたため可能となった。これらの長期にわたる作業の結果、頸椎のアライメントはさまざまな外的要因で変化しうることに、それも決して不可逆性ではなく、可逆性に变化する可能性が示唆された。その外的要因とは、頸部に加わる大きな外力だけでなく、アメリカンフットボール活動そのもので日常的に繰り返し生じる微小外力や頸部筋肉の肥大などが重要な要素として考えられた。骨棘などの変性変化も高学年になるほどより高い頻度で観察できた。

#### 5-3-2. 調査目的のための理想的な対象が得られた。

アメリカンフットボール活動そのものの頸部に対する影響を知るには、初めてアメリカンフットボールを開始した集団のデータが理想的である。その意味で本調査の対象は全員が大学入学後にアメリカンフットボールを始めた集団であり理想的であった。米国のアメリカンフットボール選手は、幼少時期からフットボールに慣れ親しんでおり、本調査のような対象はかえって獲得しにくいと思われる。

#### 5-3-3. 頸部筋力の定量的な測定が、初めて可能になった。

当初は前述した繰り返す微小外力が、頸椎周囲の靭帯、椎間板組織などに瘢痕を生じて頸椎アライメントの変化が惹き起こされると考えた。しかし、アメリカンフットボールを引退して1年経過した選手の頸椎を偶然撮影したところ、頸椎のアライメントがもとどおりに改善しているのに驚き、今度は頸部の筋力に注目した。当時は頸部筋力を定量的に測定する器機は存在せず、ヘルメットを改良してサイベックス等速性筋力測定器に取り付けるなど苦勞を重ねた。このよう

なときに現場で簡便にしかも再現性もよく正確に頸部等の筋力を定量化できる機器を入手でき、初めて頸部筋力を定量化するのに成功した。このことで縦断的な筋力の変化を追跡してみるとやはり、頸椎のアライメント変化などの形態学的変化には筋力の相対的な変化、すなわち頸部の屈曲力が伸展力に対して相対的に強化されることが重要な役割を果たしているとの確信に至った。

#### 5-3-4. コンタクト時のダイナミックな頸椎の動作分析に初めて成功した。

このような研究を継続中に、コンタクトの瞬間の頸椎のダイナミックな挙動を観察する必要性にかられ、シネラジオグラフィーの応用を思いつき、1988年に第1回目の報告をした<sup>(13)</sup>。さらに今回は、より精密に、より簡便に、症例数を増やして頸椎のアライメント別に検討をおこなった。その結果、アメリカンフットボールでは、頭部に生じた衝撃によってあたかもドミノ倒しのように上位頸椎から順に椎体が動き出し、それらの挙動は選手の頸椎アライメントや衝撃力の作用方向、強度などに影響されることが判明した。したがって、頭部に加わった衝撃力は、頸部の上部から順に下部に吸収されていくことが推測できた。

われわれの実験と同時におこなった自動車の追突模擬実験では、アメリカンフットボールとは逆に頸椎は下位椎体から押し上げられるように順に上位椎体に変化していくことが判明した。この二つの事実は大変興味深いことで、自動車事故などでの頸椎の損傷部位が中位から下位椎体に多いのに対して、アメリカンフットボールではこれよりも上位から中位椎体に形態異常が生じることが証明できたことになる。

#### 5-3-5. アメリカンフットボール活動の頸部に関する多角的な要素の相互関係を明らかにできた。

アメリカンフットボール活動が頸椎の形態学的な変化（アライメント）にあたえる影響を、縦断的なX線分析、筋力分析から統計学的に検討できた。すなわち、アメリカンフットボール活動経験年数が増えるほど頸部筋力の屈曲、伸展比は変化し、X線上の変形性変化の出現頻度が上昇した。また、脊柱管狭窄症などの個体差が、これらの要素にからみあって総合的にアライメント

に影響を与えていることを初めて明らかにできた。

#### 5-4. 仮説の検証

これまでの結果にもとずいて、設定した仮説の検証を行った。

##### 仮説(1) 頸椎のアライメントはアメリカンフットボール活動で悪化する。

第1章で述べた横断的な研究だけでなく第2章での縦断的な頸椎X線像の形態観察で、アメリカンフットボール選手の頸椎アライメントは可逆性または不可逆性に变化することが判明した。頸椎アライメントの調査研究は散見される。たとえば、佐々木は健常人500名の頸椎X線の研究をおこない、20才代男性の前弯を有する割合は68%、以下30才代が66%、40才代が14%、一方女性では前弯を有する割合は男性よりも低く、20才代で前弯を有する割合は46%、30才代で52%などと報告した<sup>(64)</sup>。頸椎のX線上の正常の状態を明確に定義したものはなく、多様な加齢変化と性差に加えて、頸椎自体の持つ形態上の複雑さから、どの部位のどの程度の変化が正常範囲を越えたものであるかを判断することは容易ではない。たとえば正常の頸椎は常に前弯を形成しているとされ、諸家が脊椎角度計を作製してそれを計測している<sup>(65)</sup><sup>(66)</sup>。しかしまた、ほかの研究者は頸椎前弯消失、後弯形成などは多くの例に見られるものであるとし、とくに三好は自験例健常群の半数に後弯を認めたと報告している<sup>(67)</sup><sup>(68)</sup><sup>(69)</sup><sup>(70)</sup>。本研究対象群の前弯の割合は52%であり、健常な対象群を選択したと考える。

##### 仮説(2) 継続的なアメリカンフットボール活動により変性所見が高頻度に出現する。

4年間のアメリカンフットボール活動によって、骨棘、すべりなどの変性変化の出現率は高くなっていた。したがって、アメリカンフットボールを継続すればこのような変化の出現する確率は高くなるといえる。しかし、アメリカンフットボールでは、ルールの改正によって頭部からの危険なコンタクトが禁止され、現在米国では「頭からあたれ」と指導するコーチは、重大事故が発生した際には法的責任をとられるようになっている。国内でも、アメリカンフットボール医事委員会のセミナーなどの努力により、まず上肢で必ずコンタクトし、頭部から接触することでヘルメットを汚してはならないなどの指導法が徹底してきている。したがって、今回の研究でも重

度の変性変化は観察できなかったので、今後はこの発生率は減少することが期待できる。

変性変化の出現好発部位は中位頸椎であった。佐々木らの報告にもあるように一般的な好発部位はC 4-C 7の下位頸椎であり、それより一椎間上位に変化が生じることは頭部を介して衝撃が頸椎に伝わるアメリカンフットボールの特徴と考えられる。

### 仮説(3) 頭部からのコンタクトは頸椎に異常なストレスや変形を誘発する。

頭部コンタクト時の頸椎動作解析実験から、頭部から衝突した場合、C 2/3は衝突の直前からフィードフォワード的に屈曲方向に回転する一方でC 3/4は逆に伸展位方向に回転することなどが判明した(C 3/4のparadoxical movement)。これらの結果、アメリカンフットボールにおけるコンタクトの際、頸部周囲筋群は同時収縮することにより頸椎柱を短縮させる軸圧として働き、頸椎列を安定化させていると推定された。さらに、解剖学的に頭部とC 1、C 2は強力な後頭下筋群(頭板状筋など)、頸半棘筋で胸椎上部にアンカーされており、頸椎のさまざまな形態学的な異常はC 3/4を中心とする頸椎に好発すると考えた。

頸部の筋力強化が必要なのは、アメリカンフットボール関係者の認める当然のことであるが、頭頂部からコンタクトした場合、最大で約600 kg(約5880 N)の力がかかってくる<sup>(26)</sup>。したがって、頭部から、繰り返しコンタクトすると変性変化が発生することは避けられないであろう。われわれの調査では頸部筋力と頸部捻挫発生率の間には何の関係も見いだせなかった。したがって、頸部筋力強化は頸部外傷予防のための必要条件でしかありえない。

予防には、コンタクト技術の改善、全身のパワーアップの必要性、ゲームの状況判断能力の向上、ポジションの対策など総合的に考えなければならない。

しかし、頸椎の動作解析実験の結果から、形態学的に頸椎のアライメント異常をしめす選手には頸椎損傷の危険性が增大することが考えられるので、頸部屈筋力と伸展筋力の比が0.7前後に目標を置きトレーニングすることが望ましいと結論づけた。

## 5-5. 現場への提言

### 5-5-1. 正しいコンタクト姿勢

スピアリングタックルとは、頭頂部からロケットのように相手にアタックするタックルのことで、頸椎には強大な軸圧がかかり、最も重大な事故が発生しうる危険な技術である。この軸圧の力は、頸部の筋収縮などで吸収するのは困難である。したがって、選手はコンタクト時に頸部に対して最も危険とされている軸圧を受けないように一般的にヘッドアップするように指導されている。しかし、ヘッドアップしすぎると（顎が上がる状態）、胸鎖乳突筋は伸筋群として作用し、前方の外力に対して弱くなっている。この外力を筋収縮で吸収しきれなくなり、頸部の骨性組織や椎間板、靭帯のような軟部組織に悪影響を及ぼす。また、顎が上がるとコンタクトの時に重要とされる下肢の伸筋群や腹筋の収縮が姿勢反射の一つである頸反射のために抑制され、コンタクトの前方からの衝撃に対して総合的に弱くなり、障害予防の観点と同様にパフォーマンスを考える上でもマイナスとなる。しかし一方で、ヘッドアップをしないで頭頂部からコンタクトすると、前方の外力が脊椎列に対する軸圧となって椎体の圧迫を起こすので非常に危険である。そこで安全なコンタクトをおこなうためには、胸鎖乳突筋が屈曲方向へ作用している状態、つまり前方からの外力に対して頸部にかかる衝撃力を均等に吸収するようなコンタクトをするべきである。このような状態を作り出すためには、「あごをひいて」頸部を伸展させることが重要と考える。コンタクト技術を指導するときには、顔面を挙げて軸圧を防ぐことに加え、顎を引いた状態で胸鎖乳突筋を屈曲方向へ作用させ、前方からの外力による頸椎過伸展を防ぐということを考慮するべきである。また頸部に関しては、上記のようなコンタクト姿勢を習得させることが指導上重要なポイントであるが、ヘッドファーストコンタクトにならないように、コンタクトにおける上肢の使用を重視して指導することが頸部傷害を予防する上で最も重要である。

### 5-5-2. 筋力強化について

頸部の筋力強化が必要なのは当然のことであるが、頭頂部からコンタクトした場合、最大で約600 kg (約5880 N) の力がかかってくる<sup>(26)</sup>。したがって、頭部から繰り返しコンタクトすれば変形性変化の発生は予防しようがないと考える。われわれの調査では頸部筋力と頸部捻挫発生率の間には何の関係も見いだせなかった。したがって、頸部筋力強化は必要条件でしかありえない。予防には、コンタクト技術の改善、全身のパワーアップの必要性、ゲームの状況判断能力の向上、ポジションの対策など総合的に考えなければならない。

したがって、まず頸部周囲径を増大することで頸部の衝撃吸収作用を強化することが必要である。つぎに頭部と体幹をワンピースに固定するために僧帽筋の強化が重要である。

また、頸椎の動作解析実験の結果から、形態学的に頸椎のアライメント異常をしめす選手には頸椎損傷の危険性が増大することが考えられるので、頸部屈筋力と伸展筋力の比が0.7前後に目標を置きトレーニングすることが望ましいと考えた。

### 5-5-3. 定期的なメデイカルチェックの必要性

Torg 他はコンタクトスポーツにおいて、頸椎損傷や頸髄損傷などの頸部外傷が発生する危険因子として、1) 先天的もしくは後天的な脊柱管狭窄症や、2) 頸椎の前弯の消失や後弯があるもの、3) 頸部外傷の既往症があり、頸椎の異常が存続しているもの、4) 頭部からコンタクトするいわゆる‘スピアリング’の習慣が身に付いてしまっているものを挙げている。2) に関して頸椎後弯やS字状カーブの頸椎アライメントでは衝撃を上手く吸収できないために、頸部傷害を起こす危険性の高いことが推察される。今回の実験では、頸椎後弯やS字上カーブの頸椎アライメントを示す被験者に特徴的な頸椎挙動が認められた。また、アメリカンフットボール選手の頸椎アライメントは経時的に変化していくことや、頸椎変形性変化が脊柱管の二次的狭窄や椎間孔の狭小化につながり、脊髄症や神経根症を引き起こす可能性があることから、X線学的調査を含む定期的なメデイカルチェックを行うことが必要と思われる。



## 謝辞

本研究において、御指導ならびに御校閲くださいました筑波大学体育科学系宮永 豊教授に深甚なる謝意を表します。さらに多大なるご助言を賜りました宮丸凱史教授、村木征人教授、高井省三教授、矢吹 武先生、土肥徳秀先生に深謝いたします。第4章の動作解析実験におきましては、装置の設定等にご協力いただきました財団法人自動車研究所の小野古志郎先生、福田 崇君に深謝いたします。統計学的分析でご指導いただいた西嶋尚彦講師に深謝いたします。最後に長期にわたって本研究に対して心身共に支えとなってくれました妻、枝里に心から感謝いたします。

引用文献

- 1) National Collegiate Athletic Association : Football, NCAA Injury Surveillance System, 1994
- 2) Alexander E : Hyperextension injuries of the cervical spine. Archives Neurological Psychiatry 79 : 146-157, 1958
- 3) Torg JS, Pavlov H, Genuario SE, et al. : Neurapraxia of cervical spinal cord with transient quadriplegia. Journal of Bone and Joint Surgery 68-A ; 1354-1370, 1986
- 4) Alley RH : Head and neck injuries in high school football. Journal of the American Medical Association 188 : 418-422, 1964
- 5) Kenneth MF, Torg JS, Sennett B, et al. : Prevention of Cervical Spine Injuries in Football. The Physician and Sportsmedicine 19 : 54-64, 1991
- 6) Mueller FO : Annual survey of catastrophic football injuries :1977-1983. Physician and sports medicine 13 : 75-81, 1985
- 7) Jesse CD, William CF : Incidence of injury in Texas high school football. American Journal of Sports Medicine 20 : 575-580, 1992
- 8) Albright JP : Head and neck injuries in college football, an eight year analysis. American Journal of Sports Medicine 13 : 147-152, 1985
- 9) Torg JS, Truex R Jr, Quedenfeld TC, et al. : The national football head and neck injury registry. Journal of the American Medical Association 241 : 1477-1479, 1979
- 10) 中島寛之 : アメリカンフットボールの事故-平成3年度の事故の実態を踏まえて。関東アメリカンフットボール連盟安全対策クリニック、1993
- 11) 松元剛、下條仁士 : アメリカンフットボールにおけるスポーツ傷害。Japanese Journal of Sports Sciences. 9(10) : 649-654、1990
- 12) 下條仁士、林浩一郎、矢吹武、他 : アメリカンフットボールにおける頸部外傷。臨床スポーツ医学別冊、4 : 100-114、1987
- 13) 下條仁士、矢吹武、土肥徳秀、他 : アメリカンフットボールにおける外傷 1-頸部外傷 : Japanese Journal of Sports Sciences. 7 : 785-793、1988
- 14) 福井尚志 : スポーツによる頸部神経根、腕神経損傷。臨床スポーツ医学、8 (9) :981-985、1991
- 15) 川北剛、萬納寺毅智、夏山元伸、他 : 大学アメリカンフットボール選手の頸椎変化につい

て。日本整形外科スポーツ医学会誌、12(2) : 135-139, 1993

16) Mechanisms and pathomechanics of athletic injuries to the cervical spine, in Torg JS (ed) : Athletic injuries to the head, neck and face. Philadelphia, Lea & Febiger, 139-154, 1981

17) Torg JS, Sennett B, Vegso JJ, et al. : Axial loading injuries to the middle cervical spine segment. American Journal of Sports Medicine 19 : 6-20, 1991

18) Schneider RC : Head and neck injuries in football. Baltimore, Williams & Wilkins, 25-56, 1973

19) Torg JS, Glasgow SG: Criteria for return to contact activities following cervical spine injury. Clinical Journal of Sports Medicine 1 : 12-26, 1991

20) Torg JS, Sennett B, Vegso JJ, et al. : The axial load teardrop fracture. American Journal of Sports Medicine 19 : 355-364, 1991

21) Torg JS, Truex RC, Marshall J, et al. : Spinal injury at the level of the third and fourth cervical vertebrae from football. Journal of Bone and Joint Surgery 59A : 1015-1019, 1977

22) Bohlman HH: Acute fractures and dislocations of the cervical spine. Journal of Bone and Joint Surgery 61A : 1149-1142, 1979

23) O'Brien PJ, Schweigel JF, Thompson WJ : Dislocations of the lower cervical spine. Journal of Traumatology 22 : 710-714, 1982

24) Torg JS, Sennett B, Pavlov H, et al. : "Spear tackler spine" An entity precluding participation in tackle football and collision activities that expose the cervical spine to axial energy inputs. American Journal Sports Medicine 21, 640-649 ;1993

25) Torg JS : Cervical Spine Stenosis with Cord Neurapraxia and transient Quadriplegia. Clinics in Sports Medicine 9. 279-296 ; 1990

26) Torg JS, Sennett B, Vegso JJ, et al. : The epidemiologic, pathologic, biomechanical, and cinematographic analysis of football-induced cervical spine trauma. American Journal Sports Medicine 18 : 50-57, 1990

27) 萩島秀男 : 頸と腕の痛み。原著第2版 医師薬出版株式会社、78-96、1989

28) 酒匂崇 : 頸椎外科。金原出版株式会社 : 30-34、1988

29) 植山和正、原田征行 : 頸椎のスポーツ外傷(脱臼・骨折を主に)。臨床スポーツ医学、8(10) : 999-1004、1991

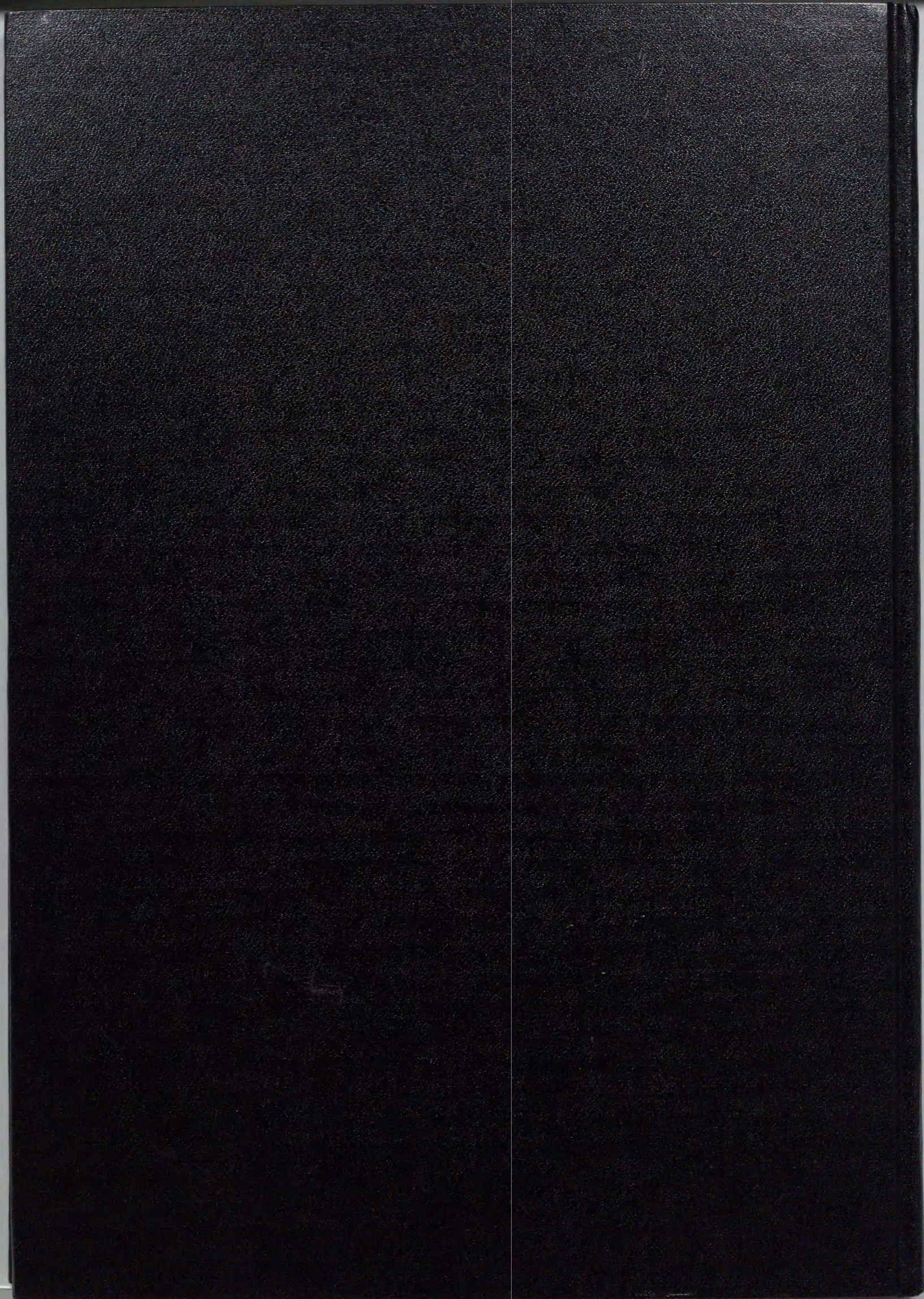
- 30) Payne EE : The cervical spine.: An anatomic-pathological study of 70 specimens (using special technique) with particular reference to problems of cervical spondylosis. *Brain* 80 : 571-596, 1957
- 31) Penning L : Some aspects of plain radiography of the cervical spine in chronic myelopathy. *Neurology* 12 : 513-519, 1962
- 32) 下條仁士、林浩一郎、矢吹武、他 : アメリカンフットボールにおける頸部障害。臨床スポーツ医学、4 (2) : 110-114、1987
- 33) 松元剛、下條仁士 : スポーツ選手の頸椎変化と頸部周囲筋群筋力特性について。Japanese *Journal of Sports Science*. 13(2) : 125-130、1994
- 34) 下條仁士、宮永 豊 : アメリカンフットボールにおける頸椎変化と頸部筋力について。整形スポーツ外科会誌、16(1) : 19-28、1996
- 35) Albright JR, Moses JM, Feldick HG, et al. : Nonfatal cervical spine injuries in interscholastic football. *Journal of the American Medical Association* 236 : 1243, 1976
- 36) Barnes R : Traction injuries of the brachial plexus in adults. *Journal of Bone and Joint Surgery* 31B : 10-16, 1949
- 37) Bateman JE : Nerve injuries about the shoulder in sports. *Journal of Bone and Joint Surgery* 49A : 785-792, 1967
- 38) Chrisman OD, Snook GA, Stanitis JM, et al. : Lateral-flexion neck injuries in athletic competition. *Journal of the American Medical Association* 192 : 117-119, 1965
- 39) Clancy WG : Brachial plexus and upper extremity peripheral nerve injuries. : Athletic injuries to the head, neck and face. Philadelphia, Lea & Febiger, 215-222, 1982
- 40) 下條仁士、林浩一郎、福林 徹、他 : アメリカンフットボールの頸部傷害について。臨床スポーツ医学、12 (1) : 188-198、1995
- 41) 新津守、下條仁士、福林 徹他 : MRI によるアメリカンフットボールの頸部障害の評価、臨床スポーツ医学、7 (4) : 505-509、1990
- 42) 下條仁士、矢吹武、林浩一郎、他 : アメリカンフットボールにおける外傷-頸部外傷-Japanese *Journal of Sports Sciences* 7(4) : 785-792、1995
- 43) Bergfeld JA, Hershman E, Willboume A, et al. : Brachial plexus injury in sports : A five-year follow up. *Orthopedics Transaction* 12 : 743-744, 1988

- 44) 中嶋寛之：フットボールの負傷事故.安全なフットボールをめざして。1992年 関東大学  
アメリカンフットボール連盟安全対策セミナー講演集。関東大学アメリカンフットボール連盟、  
東京 1993
- 45) 中嶋寛之：アメリカンフットボールにおけるルール改正と外傷・障害の予防。臨床スポー  
ツ医学、12(1)：51-54、1995
- 46) 下條仁士：各競技における現状と対策-復帰の問題を含めて-アメリカンフットボール。臨床  
スポーツ医学、9(2)：1237-1241、1992
- 47) 蒲田和芳、黒沢 尚：大学アメリカンフットボール部における外傷管理。臨床スポーツ医  
学、12(8)：37-44、1995
- 48) 福井尚志：アメリカンフットボール選手の頸椎損傷。臨床スポーツ医学、12(1)：13-19、  
1995
- 49) 下條仁士、林浩一郎、福林 徹、他：アメリカンフットボールのスポーツ傷害。臨床スポ  
ーツ医学、10(4)：463-468、1993
- 50) 下條仁士、宮永 豊：アメリカンフットボールにおけるスポーツ障害。スポーツ産業学研  
究第3回大会号、49-52、1993
- 51) Siri WE：Body composition from fluid spaces and density, in Brozek J, Henschel A (eds)：  
Techniques for Measuring Body Composition. Washington, DC, National Academy of Sciences,  
223-224, 1961
- 52) Canale ST：A chronicle of injuries of an American intercollegiate football team. American  
Journal of Sports Medicine; 9：384-389, 1981
- 53) Williford HN, Kirkpatrick J, Scharff-Olson M, et al.：Physical and performance  
characteristics of successful high school football players. American Journal of Sports  
Medicine；6：859-862, 1994
- 54) Smith JF, Mansfield E：Body composition prediction in university football players.  
Medical Science and Sports Exercise 4：398-405, 1984
- 55) 松元剛、下條仁士：アメリカンフットボールにおけるスポーツ傷害-筑波大学での過去12  
年間(1977-1988)の統計-。Japanese Journal of Sports Sciences. 9(10)：649-654、1990
- 56) 有馬亨：スポーツにおける頸椎損傷の初期治療。臨床スポーツ医学、8(9)：993-997、

1991

- 57) Schneider RC : Serious and Fatal Football Injuries Involving the Head and Spinal Cord  
Journal of the American Medical Association 177 : 362-367, 1961
- 58) Henry H : Neck Injury in Football Players Medical Society Journal of New Jersey : 579-583, 1993
- 59) Countee RW : Congenital stenosis of the cervical spine. Diagnosis and management.  
Journal of National Medical Association 71 : 257-264, 1979
- 60) Grant T : Cervical stenosis: A developmental anomaly with quadriplegia during football.  
American Journal of Sports Medicine 4 : 219-221, 1976
- 61) Moiel RH : Central nerve syndrome resulting from congenital narrowing of the cervical canal. Journal of Traumatology 10 : 502-510, 1970
- 62) Fourre M : One-site management of cervical spine management. The physician and sportsmedicine, 19 : 53-55, 1991
- 63) 下條仁士、宮永 豊、林浩一郎、他 : アメリカンフットボールのスポーツ傷害。臨床スポーツ医学、9 (8) : 229-231、1992
- 64) 佐々木晃 : 健常人頸椎のX線学的研究。日本整形外科学会雑誌、54 : 615-631、1980
- 65) 飯野三郎 : 脊椎可動域の測定とその意義について。外科、10 : 405、1950
- 66) 伊藤三郎 : 脊柱角度計による成人脊柱湾曲度並びに可動域の研究。災害医学会会誌、5 : 96-113、1958
- 67) Bordon AGB : The normal cervical lordosis. Radiology, 74 : 806-809, 1960
- 68) Fineman S : The cervical spine : Transformation of the normal lordotic pattern into a linear pattern in the atlantoneutral posture. Journal of Bone and Joint Surgery. 45-A : 1179-1183, 1963
- 69) Juhl JH, Miller SM, Roberts GW : Roentgenographic variations in the normal cervical spine. Radiology, 78 : 591-597, 1962
- 70) 三好益来 : 頸椎後弯は果たして病的なりや。日本整形外科学会雑誌、3 : 75、1928
- 71) 狩野裕 : グラフィカル多変量解析。120-124、現代数学社、1997
- 72) 豊田秀樹 : 共分散構造分析 [入門編]。51-71、朝倉書店、1998
- 73) 山本嘉一郎、小野寺孝義 : Amosによる共分散構造分析と解析事例。1-21、ナカニシヤ出版、

1999



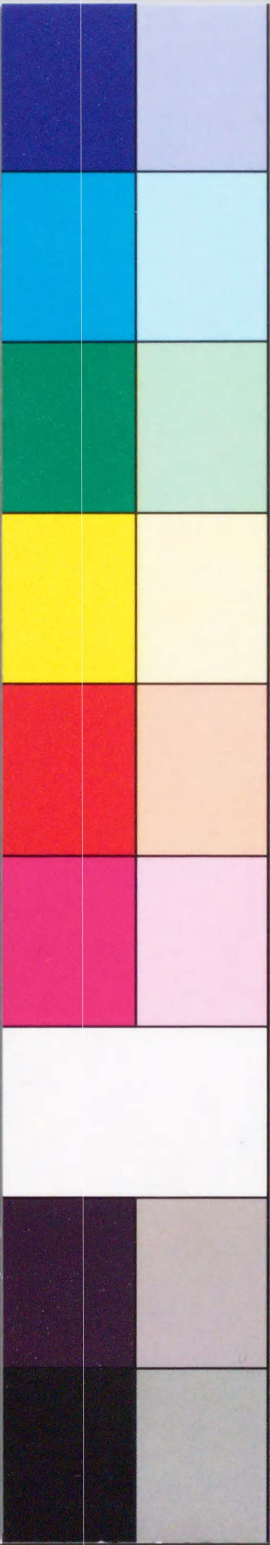


Inches 1 2 3 4 5 6 7 8  
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

