HOKKAIDO UNIVERSITY

2019.11.9 日本学術会議　北海道地区会議　学術講演会

スポーツ障害を科学する
―野球肘の科学―

北海道大学大学院医学研究院　整形外科学教室
岩崎倫政

はじめに

"Elastic energy storage in the shoulder and the evolution of highspeed throwing in *Homo*" ***(Roach NT, et al. Nature 2013)***

- 肩の可動域が拡大し、大きなエネルギーを蓄えることが可能

"highspeed throwing"が可能となり、武器を用いた狩りを行えるようになったことで、人類は大きく進化した

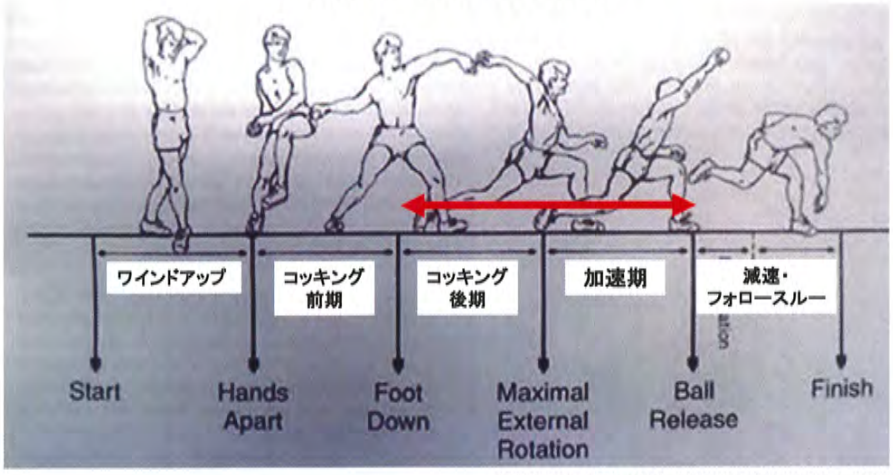
はじめに

“人類が生き残るための手段”から“スポーツ・エンターティメント”へ

“overuse/overstress”による投球障害が顕在化

投球の科学

Phase of Pitching

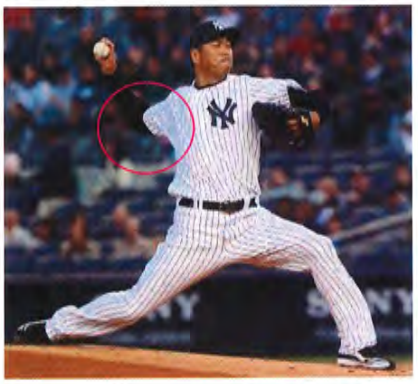


(DiGiovine MM, et al. J Should Elbow Surg 1992)

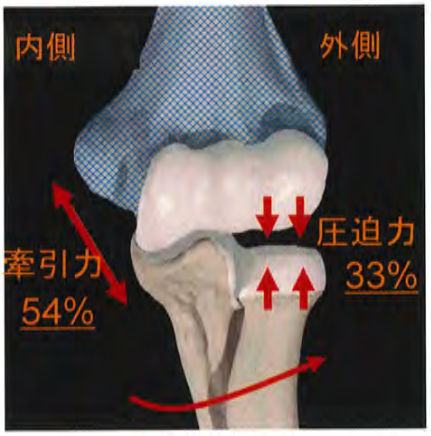
コッキング後期、加速期で肘に最も力学的ストレスがかかる

投球の科学 5

投球における肘の力学的環境



肘には外反力が生じる



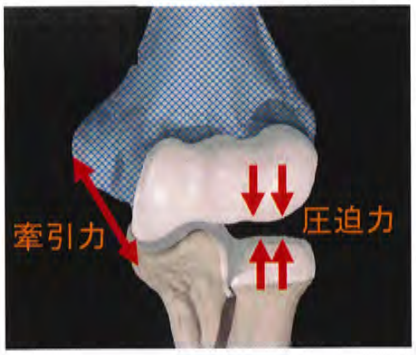
64 N-m

(Fleisig, et al. AJSM 1995; Morrey, et al. JBJS Am 1985)

野球肘 6

野球肘：特殊な力学的環境により異なる病態が混在

内側型：
軟部組織への牽引力
- 内側側副靭帯損傷
- 尺骨神経障害



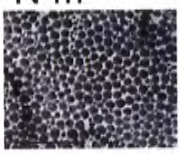
外側型：
関節への圧迫力
- 離断性骨軟骨炎
  ⇨ 遊離体（ネズミ）

内側側副靭帯損傷：病態

7

内側側副靭帯

54% of the 64 N-m



34 N-m

(Mori, Iwasaki, et al. Matrix Biology 2007)

≒靭帯の破断強度(32 N-m)

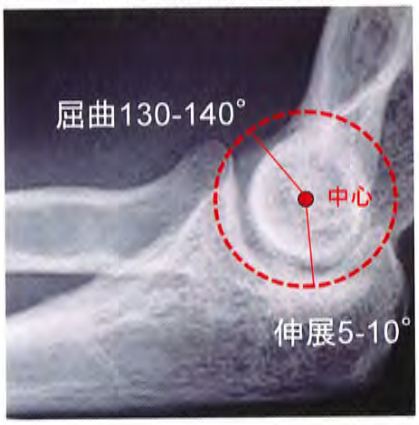
(Fleisig, et al. AJSM 1995; Morrey, et al. JBJS Am 1985)

投球動作により靭帯には破断強度に近い力学的ストレスが生じ、これが直接的な損傷原因になっている

内側側副靭帯損傷：機能解剖

8

肘関節側面像



上腕骨

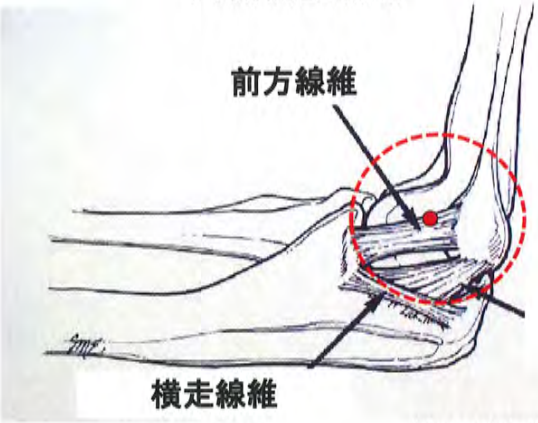
橈骨

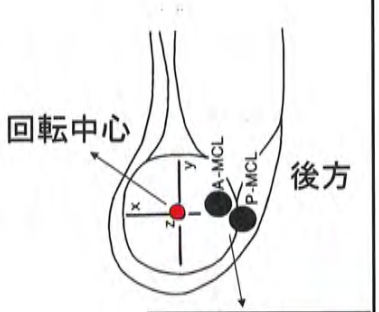
尺骨

肘関節は同心円状の動きをする

内側側副靭帯損傷：機能解剖 9

内側側副靭帯





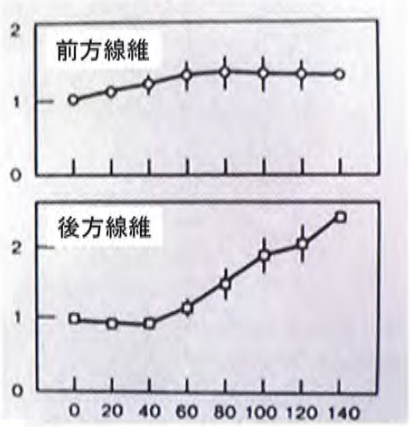
靭帯付着部：
回転中心より後方

(Morrey et al., The Elbow and Its Disorders)

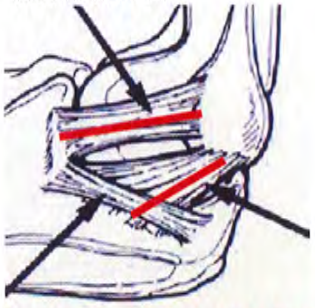
内側側副靭帯は同心円状の運動に同調しない

内側側副靭帯損傷：機能解剖 10

肘運動に伴う靭帯の長さ変化



前方線維の長さ



後方線維の長さ

屈曲に伴い靭帯長が増す：
靭帯へのストレスが増大

(Morrey et al., The Elbow and Its Disorders)

解剖学的に損傷を受けやすく、手術後のリハビリの加速化が困難

内側側副靭帯損傷：診断

11

外反ストレス：肘痛が出現

肘の内側が開大　　造影剤漏出

内側側副靭帯損傷：治療

12

基本的には保存的治療（投球中止、リハビリ等）を行う

- 3-6か月行い、復帰後に症状が再発
- 神経麻痺、疲労骨折などを合併
- 野球の継続を強く希望

手術治療を考慮する

内側側副靭帯損傷：手術

13

“トミー・ジョン手術”

Tommy John (LA Dodgers)　1974 by Dr. F. Jobe

力学的に最も重要な前方線維を再建

(Morrey et al., The Elbow)

内側側副靭帯損傷：手術成績

14

Watson, Am J Sports Med 2013

対象　1368例, 平均年齢　21.7歳,　追跡期間　40.8ヶ月

Professional level 35.2%

復帰率　78.9%

合併症率　255/1368 (18.6%)

神経症状の率が高い (6-29.2%)

再手術　6.7%

内側側副靭帯損傷：MLB Player成績

15

マット・ハービー（オールスター先発）

ホセ・フェルナンデス（新人王）

MLB pitcherの25%が手術、83%の復帰率、復帰時期は術後20.5か月

(Conte et al. AJSM 2015, Erickson, et al. AJSM 2014)

早期復帰の実現が大きな課題

内側側副靭帯損傷：多血小板血漿(PRP)治療

16

血液中の血小板：組織修復因子（成長因子やサイトカイン）を放出

内側側副靭帯部分損傷に対するPRP注射治療の成績(34患者、術後70週)

手術後評価	治療前	治療後	*P* Value
KJOC	46 ± 15	93 ± 7	<.0001
DASH	21 ± 16	1 ± 6	<.0001
DASH-sports	69 ± 24	3 ± 16	<.0001
Medial joint space in dominant arm, stressed, mm	28.7 ± 0.6	20.0 ± 1.8	<.0001
Medial joint space difference, stressed vs nonstressed, mm			
Dominant arm	7.0 ± 0.6	2.5 ± 0.5	<.0001
Nondominant arm	1.8 ± 1.2	1.8 ± 1.2	.488

(Podesta et al. Am J Sports Med 2013)

➢ 88%が合併症なく復帰しており、復帰時期は12~14週であった

部分損傷に対して、早期野球復帰への可能性が示唆された
確実な効果や作用機序に関しては未だ議論がある!

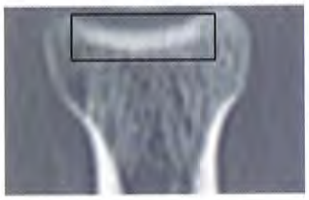
離断性骨軟骨炎 17

骨軟骨が欠損し、それが関節内で遊離(関節ネズミ)する

肘関節の力学的ストレス 18

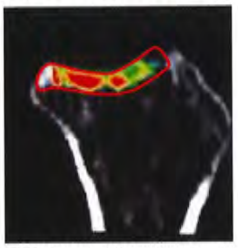
投球動作により肘関節面にはどのような力学的ストレスが加わるか？

関節直下の骨密度は関節に対する力学的ストレスを反映 *(Pauwels F.)*



ストレスの増加:
XP/CTで白くなる

CT画像より関節直下の骨濃度陰影を計測 *(Müller-Gerbl M.)*



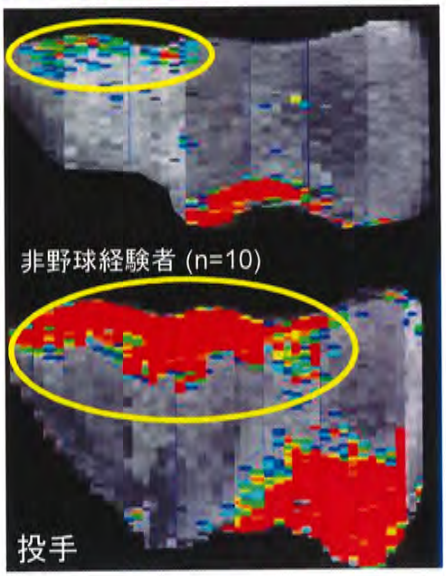
*(Iwasaki, et al. J Hand Surg Am 2000;
Oizumi, Iwasaki , et al. J Orthop Res 2003)*

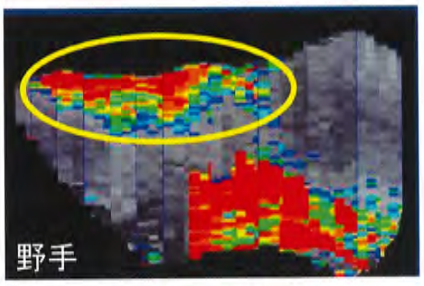
長期投球動作下での実際の肘関節面の
力学的ストレスの解析が可能に

離断性骨軟骨炎：病態

19

外側
前方





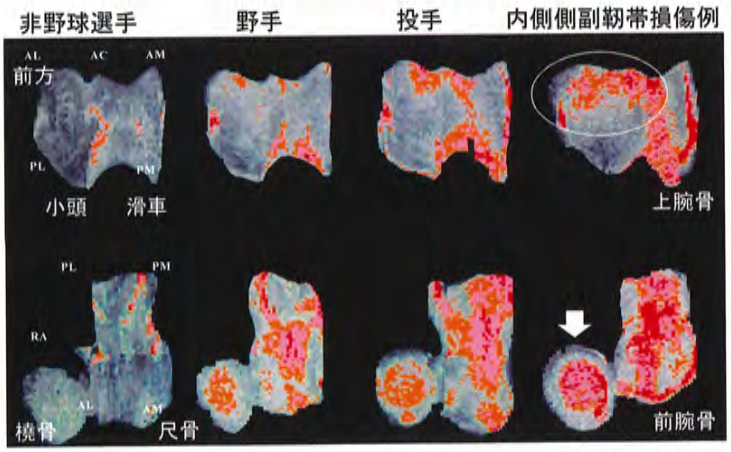
バイオメカニクス解析

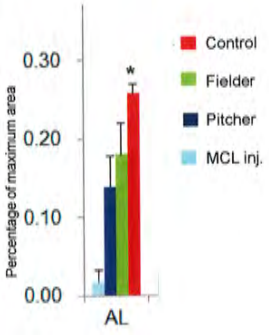
投手では病変好発部に過度の力学的ストレスが集中

(Momma, Iwasaki, et al. Am J Sports Med 2011)

離断性骨軟骨炎：病態

20





内側側副靭帯損傷により、肘関節外側への力学的負荷がより増大する

(Funakoshi, Iwasaki, et al. Am J Sports Med, 2016)

離断性骨軟骨炎：病態

靭帯損傷を生じさせる
牽引力

関節への圧迫ストレス

内側側副靭帯損傷 → 外側への圧迫ストレスが増強 → 離断性骨軟骨炎

野球肘から日常生活を脅かす変形性関節症への進行を予防することが重要

離断性骨軟骨炎：治療

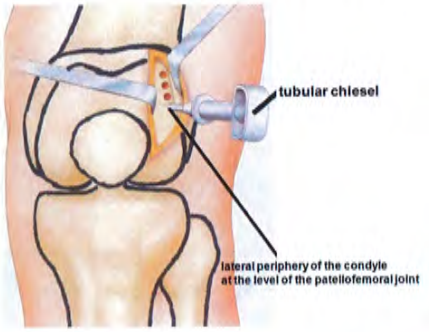
骨軟骨柱移植術(mosaicplasty)

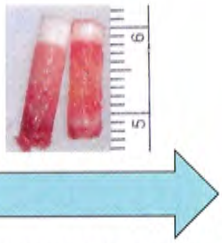
(Iwasaki, et al. JBJS Am 2009 & 2010 "Surgical Technique")

離断性骨軟骨炎：手術手技

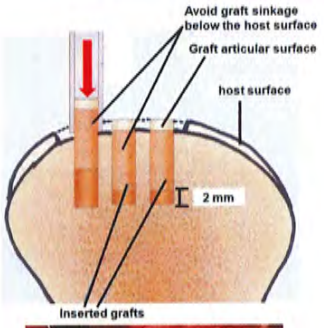
Mosaicplasty

•膝関節から骨軟骨柱を採取





肘病変部へ移植



(Iwasaki, et al. JBJS Am 2009 & 2010 "Surgical Technique")

離断性骨軟骨炎：手術成績

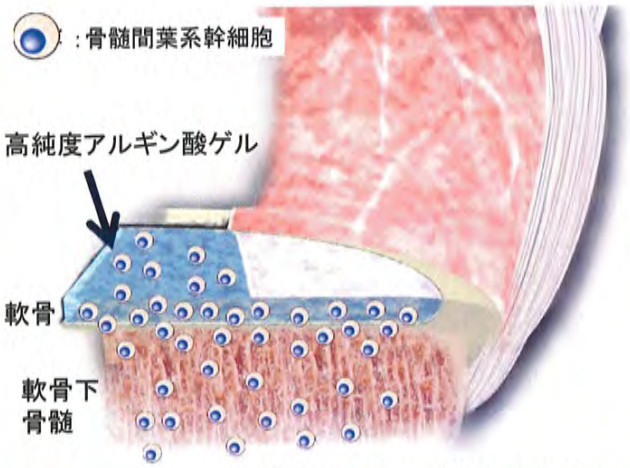
平均術後7年5か月

	手術前	手術後
肘の痛み	全例で激しい痛み	痛み無し　13/15 時々痛み有　2
肘可動域	125°	133°
スポーツ復帰		14/15
臨床成績	131	183* (Excellent/Good 13/15)

術後優れた成績が得られるが、手術侵襲が大きい

細胞を用いない軟骨再生治療法の開発 25

北大病院を中心に全国で治験実施中



高純度アルギン酸ゲル

DVD

↓

幹細胞を病変部へ集積

↓

軟骨修復の促進

(Igarashi, Iwasaki, et al. JBMR A, 2010; Cartilage, 2012; JBMR A, 2012; Tsukuda, Iwasaki, et al. JBMR A, 2015)

北大での野球肘への取り組み：野球肘検診 26

少年野球肘検診

photo

市×日ハムの連携協定で初の事業

体の調子こまめに点検を

医師ら小中生に野球肘の予防伝える

の筋肉を硬性化させるという。体操の前後で前腕をしたところ、体操後は手のひらが床に着く子が増え、子どもたちは効果を実感していた。大日向さんは「ストレッチは時々やるのでは意味がない。毎日続けていくことが大事」と強調した。保護者やコーチも子どもと一緒に運動したり、熱心にメモ

門間医師が選手一人ひとりの肘の状況を検査した

君（岐別中2年）は「本当に効果があるの

プロ選手へのメディカルサポート

photo

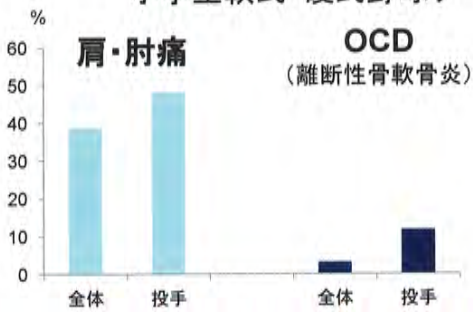
北大病院スポーツ医学診療センターを中心とした野球肘への取り組み
～少年野球からプロ野球レベルまで～

野球肘の現状：道内検診結果

2011～2016年　北海道野球肘検診結果

NPO法人　北海道野球協議会
北海道大学病院スポーツ医学診療センター

小学生軟式・硬式野球チーム　選手3169名の結果



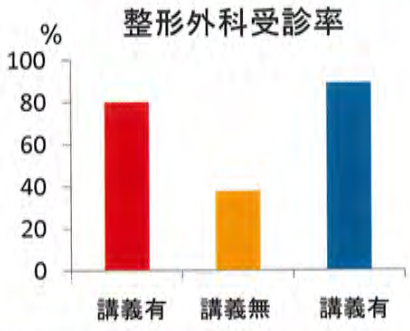
肩、肘の痛みの経験者割合
全体 1228人/3169人（38.8%）
投手 305人/633人（48.2%）

OCD有病率
全体 98人/3169人（3.1%）
投手 74人/633人（11.7%）

高率に肘の障害あり、投手は要注意

野球肘の現状：問題点と対応

検診で異常を指摘後，整形外科受診割合が少ない
受診率　30%前後　　松浦ら　関節外科2008

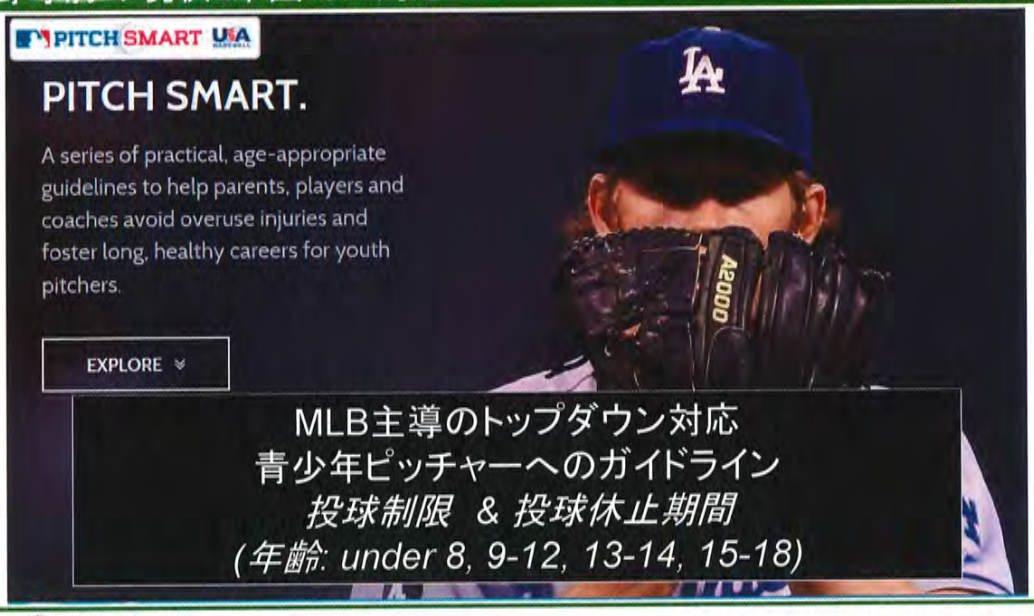


講義を行うことで受診率が飛躍的に向上

早期発見のネットワークと正確な知識の共有により、有効な予防効果が獲得

野球肘の現状：米国での対応

29



MLB主導のトップダウン対応
青少年ピッチャーへのガイドライン
投球制限 & 投球休止期間
(年齢: under 8, 9-12, 13-14, 15-18)

野球肘の倫理的側面

30

MLBの投手年棒総額 15億ドル ＞ ・NFL QB総額 5倍
・NBA年棒上位200位総額

(Passan J, The Arm)

MLB投手の必要条件：球速が90 mph（144 km/h)以上

(門間太輔先生 Rush University Medical Center, Research Fellow, personal communication)

中学生以上を対象とした球速アップのためのプログラム
"Weighted Baseball Throwing Program"

対象群と比較し、肩関節外旋角度が4° 増加し、3.3%球速がアップ

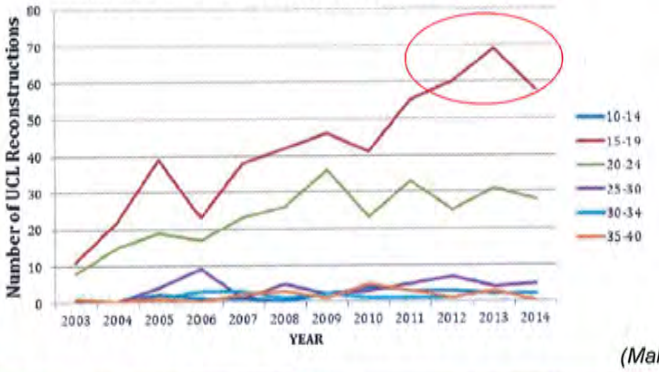
(Reinold, Andrews, et al. Sports Health, 2018)

野球肘の倫理的側面 31

“プログラム参加者の24%に肘の障害が発生”

(Reinold, Andrews, et al. Sports Health, 2018)

米国トミージョン手術件数の年齢ごとの推移



- 手術件数は343%増加
- 15-19歳の若年齢層の増加が顕著
- 復帰に時間を要する：ポジションを失うリスク

(Mahure, et al. J Shoulder Elbow Surg, 2016)

野球肘の倫理的側面 32

12歳

30代

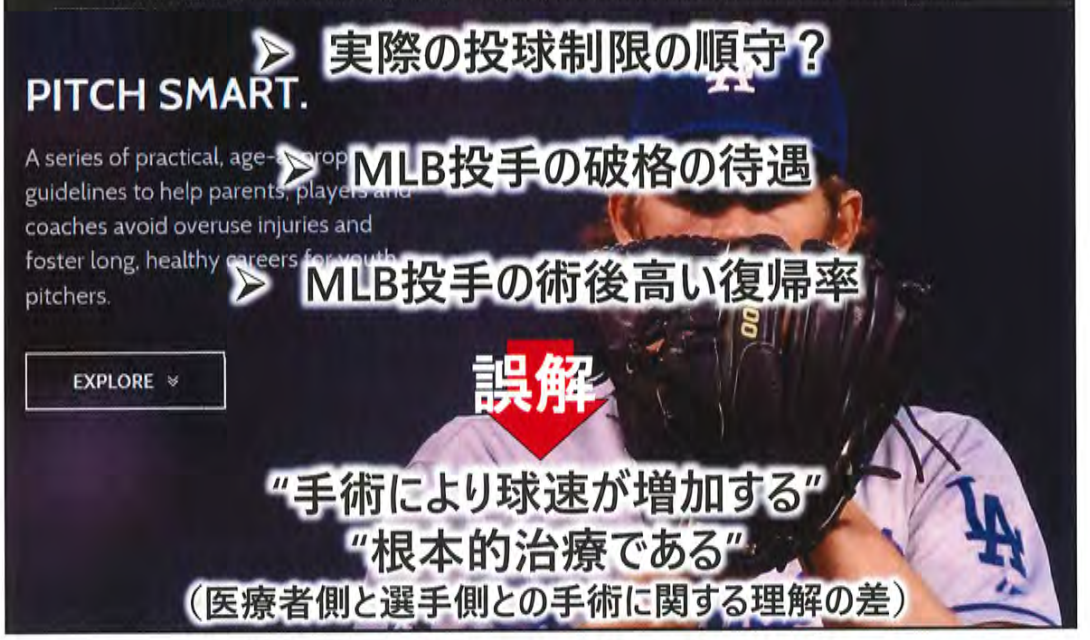
骨が未成熟で成長過程にある

手術等の侵襲に容易に反応し、変形や軟骨変性が生じる

治療対象：アスリートではなく、成長過程にある小児・若年者

トミージョン手術をはじめとする野球肘治療に対する問題点

（門間太輔先生 Rush University Medical Center, Research Fellow, personal communication）



- 実際の投球制限の順守？
- MLB投手の破格の待遇
- MLB投手の術後高い復帰率

誤解

“手術により球速が増加する”
“根本的治療である”
（医療者側と選手側との手術に関する理解の差）

野球肘に対する今後の課題 34

- 科学・医学的エビデンスに基づいた予防法の確立
  - 球数制限や投球間隔の設定：
    500球以内/週、3連戦回避 （高野連有識者会議案）
- 選手・関係者への啓蒙
  - 科学的データの提示
- 治療法の確立
  - 非手術治療および低侵襲手術の開発と応用
  - 復帰までの期間の短縮

野球肘を科学する：“科学と経験との融合”を目指す

HOKKAIDO UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF MEDICINE
DEPARTMENT of ORTHOPEDIC SURGERY

Beautiful Campus of Hokkaido University

ご清聴ありがとうございました.