

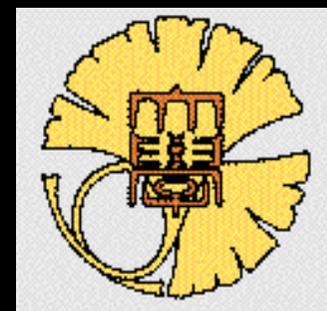
筋骨格系モデルを用いた スポーツ科学へのアプローチ

下肢動作に関するシミュレーション研究

長野明紀, 深代千之, 姫野龍太郎

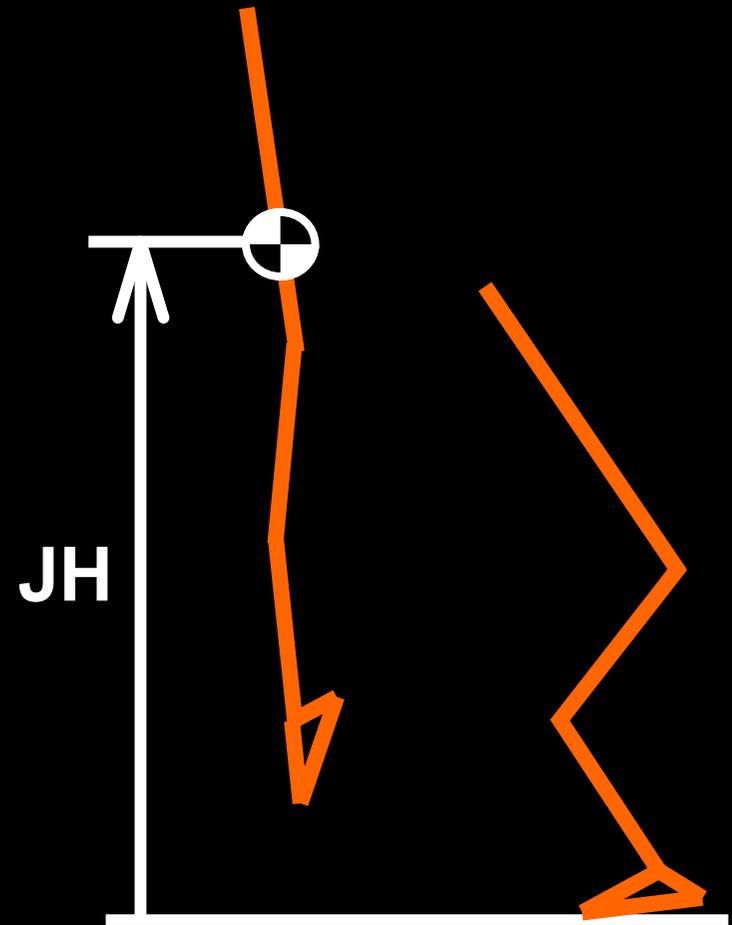
理化学研究所 情報環境室

東京大学大学院 生命環境科学系



**トレーニングが
跳躍パフォーマンスに及ぼす影響**

**Nagano and Gerritsen,
Journal of Applied Biomechanics (2001)**



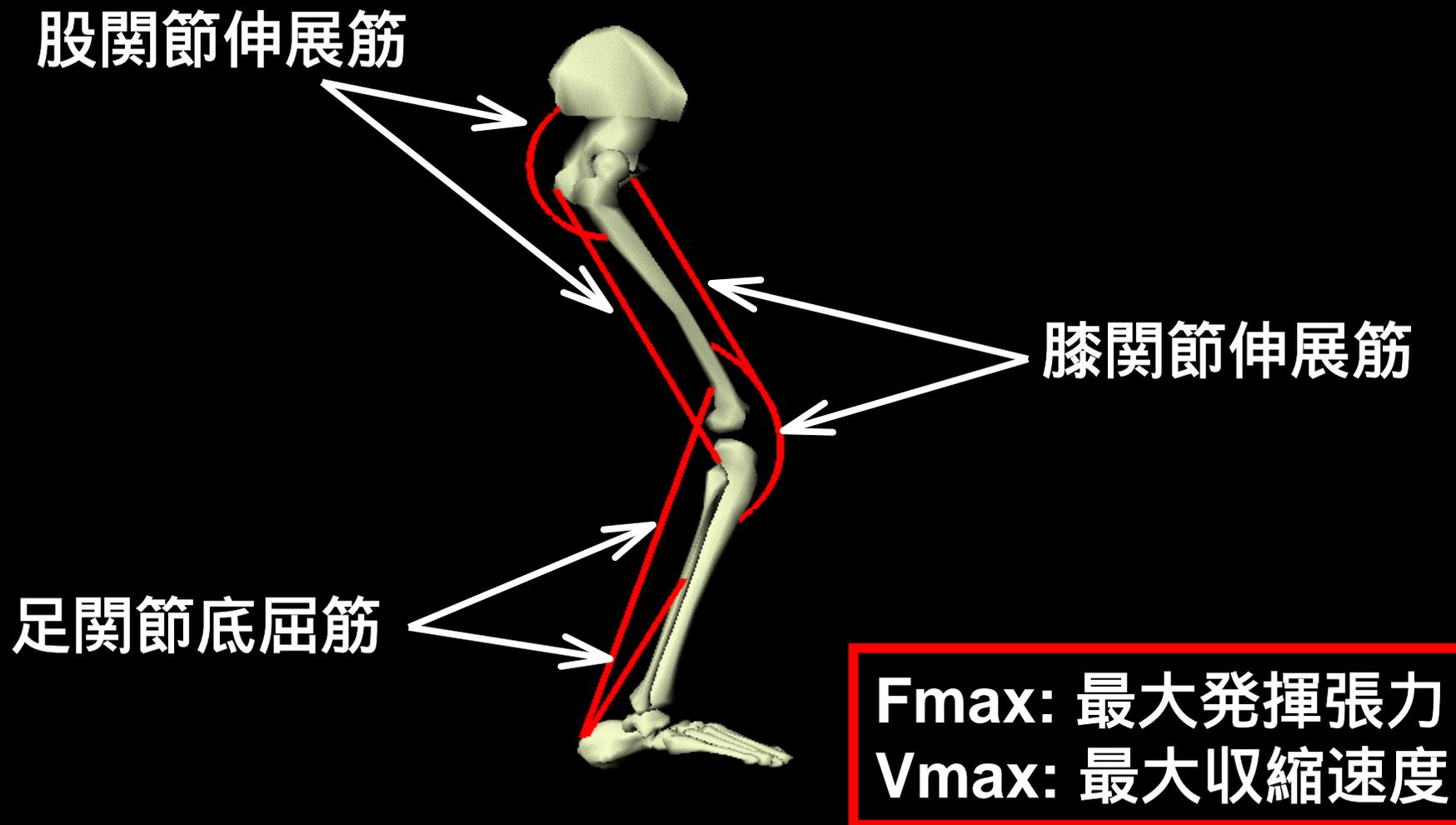
問題

- 神経・筋・骨格系のどの特性をトレーニングするべきか？
 - 最大発揮張力
 - 最大収縮速度
 - 最大刺激強度
- どの関節の筋群をトレーニングするべきか（股、膝、足首）？

コンピューター・シミュレーション

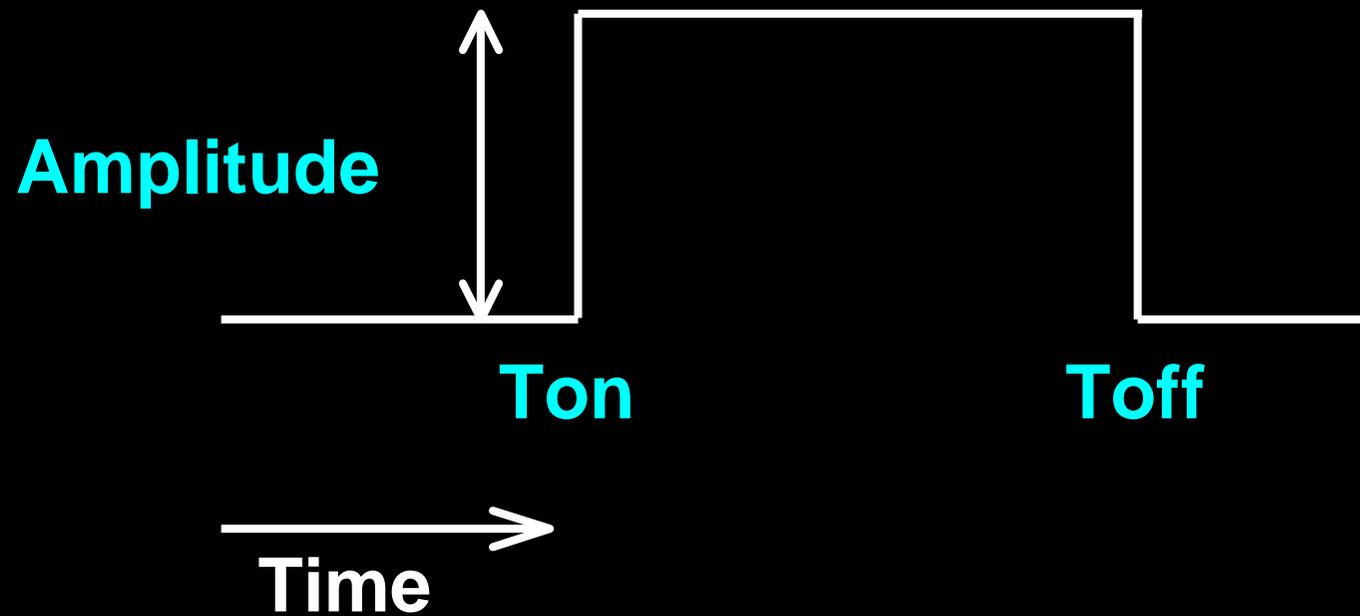
- ヒトの神経・筋・骨格系モデルを構築
- パラメーター値を変化させる
 - Fmax, Vmax, ACTmax
 - トレーニング効果のシミュレーション
- 最適な筋刺激パターンを見出す
- 跳躍パフォーマンスの比較

筋・骨格系モデル

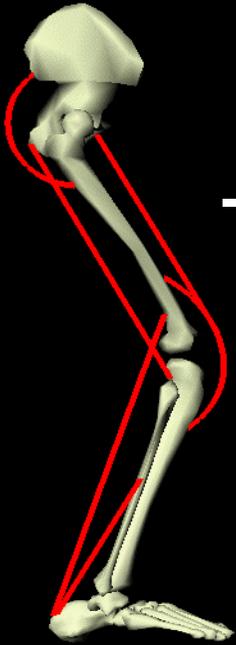


筋の刺激パターン

ACTmax: 最大刺激強度



最適化



最適化 :
Bremermann アルゴリズム
目的 :
跳躍高の最大化

SGI Octane
DADS
MATLAB

Amplitude

6 X



Time



神経・筋・骨格系の どの特性をトレーニングするべきか？

- F_{max} , V_{max} , 及び ACT_{max} を個別及び同時に増加させた
- すべての筋について同時に強化を行なった

トレーニング効果のシミュレーション

トレーニング

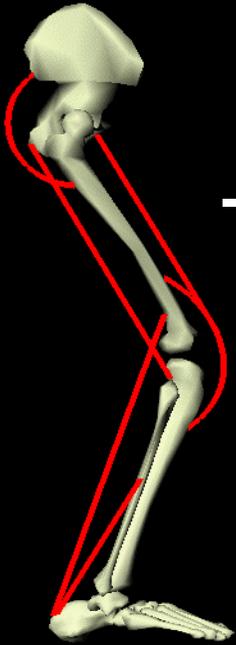


パラメーター		前	中間				後
Fmax	96%	100%	104%	108%	112%	116%	120%
Vmax	96%	100%	104%	108%	112%	116%	120%
ACTmax	88%	90%	92%	94%	96%	98%	100%

Davies & Young (1983)

Hakkinen et al. (1998)

最適化



ΔF_{max}
 ΔV_{max}
 ΔACT_{max}

最適化 :
Bremermann アルゴリズム
目的 :
跳躍高の最大化

SGI Octane
DADS
MATLAB

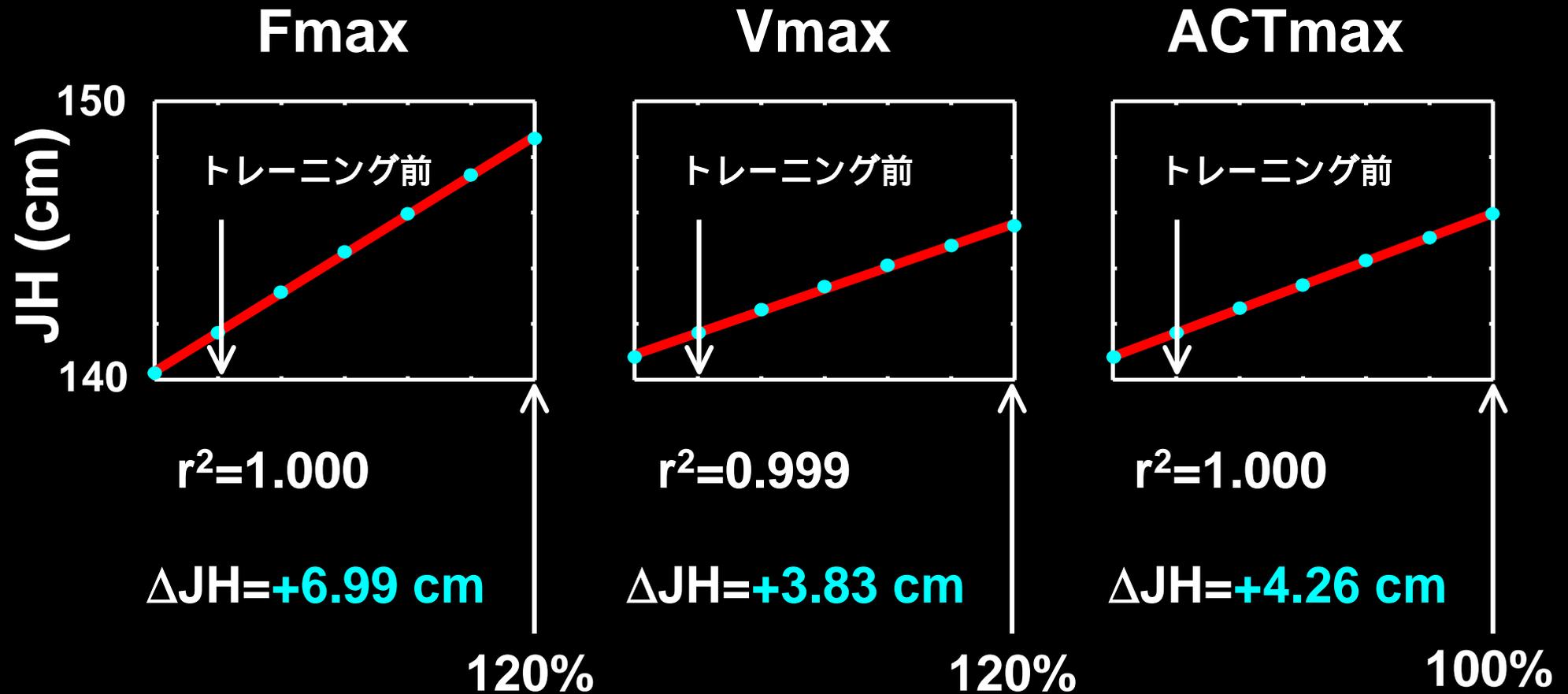
Amplitude

6 X

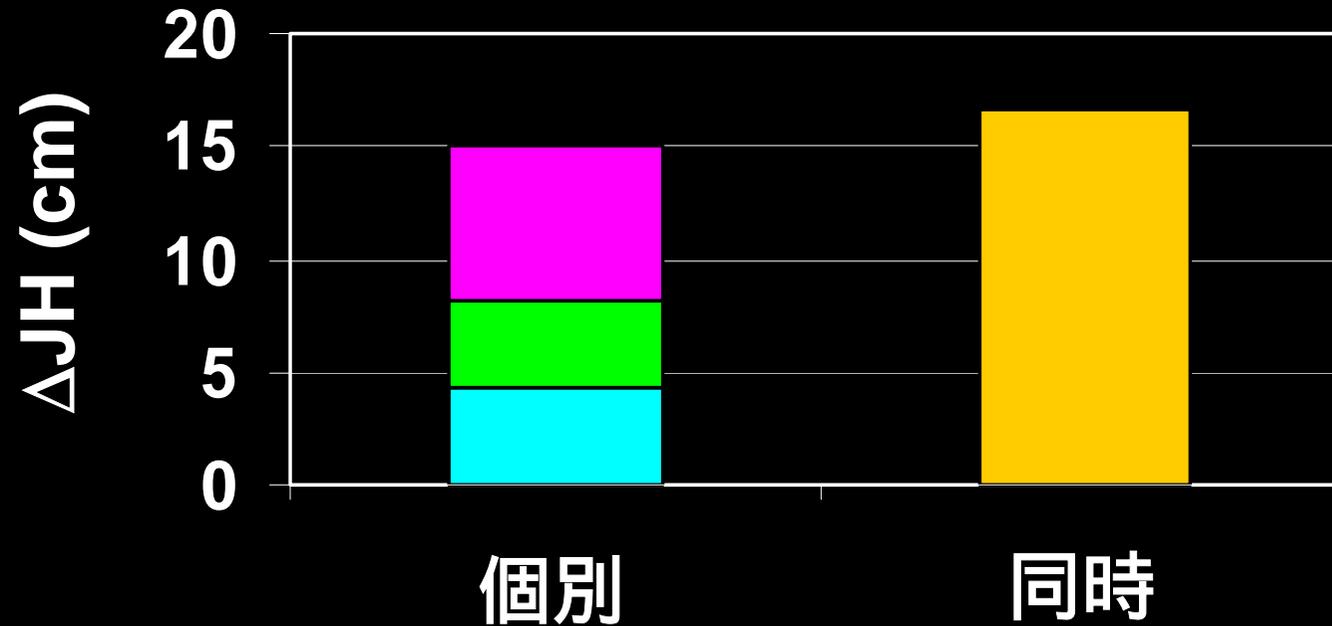


Time

跳躍高の増加



跳躍高の変化



Fmax: +6.99 cm

Vmax: +3.83 cm

ACTmax: +4.26 cm

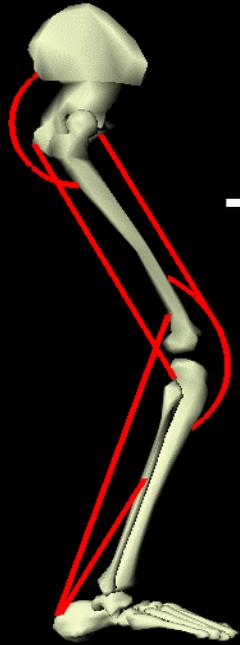
合計: +15.08 cm

+16.62 cm

どの関節の筋群を トレーニングするべきか？

- 股関節伸展筋群、膝関節伸展筋群、足関節底屈筋群を個別及び同時に強化した
- ΔF_{max} (20%), ΔV_{max} (10%) 及び ΔACT_{max} (10%) の強化を同時に行なった

最適化



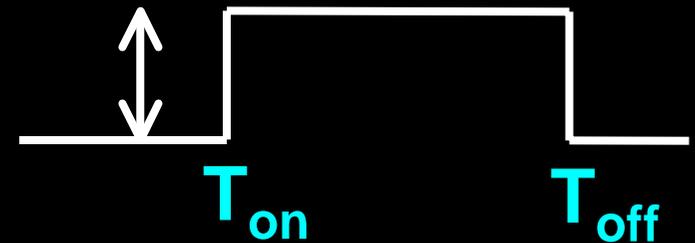
ΔF_{max}
 ΔV_{max}
 ΔACT_{max}

最適化：
Bremermann アルゴリズム
目的：
跳躍高の最大化

SGI Octane
DADS
MATLAB

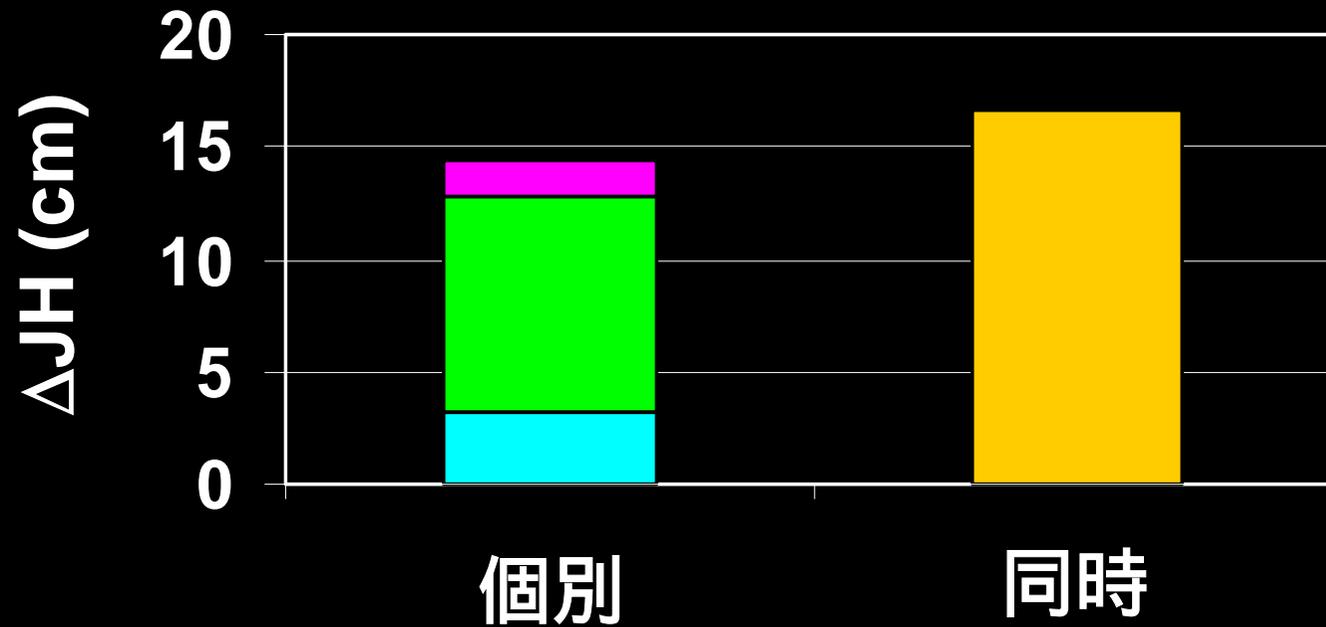
Amplitude

6 X



Time

跳躍高の変化



Hip: +1.68 cm

Knee: +9.61 cm

Ankle: +3.15 cm

合計: +14.44 cm

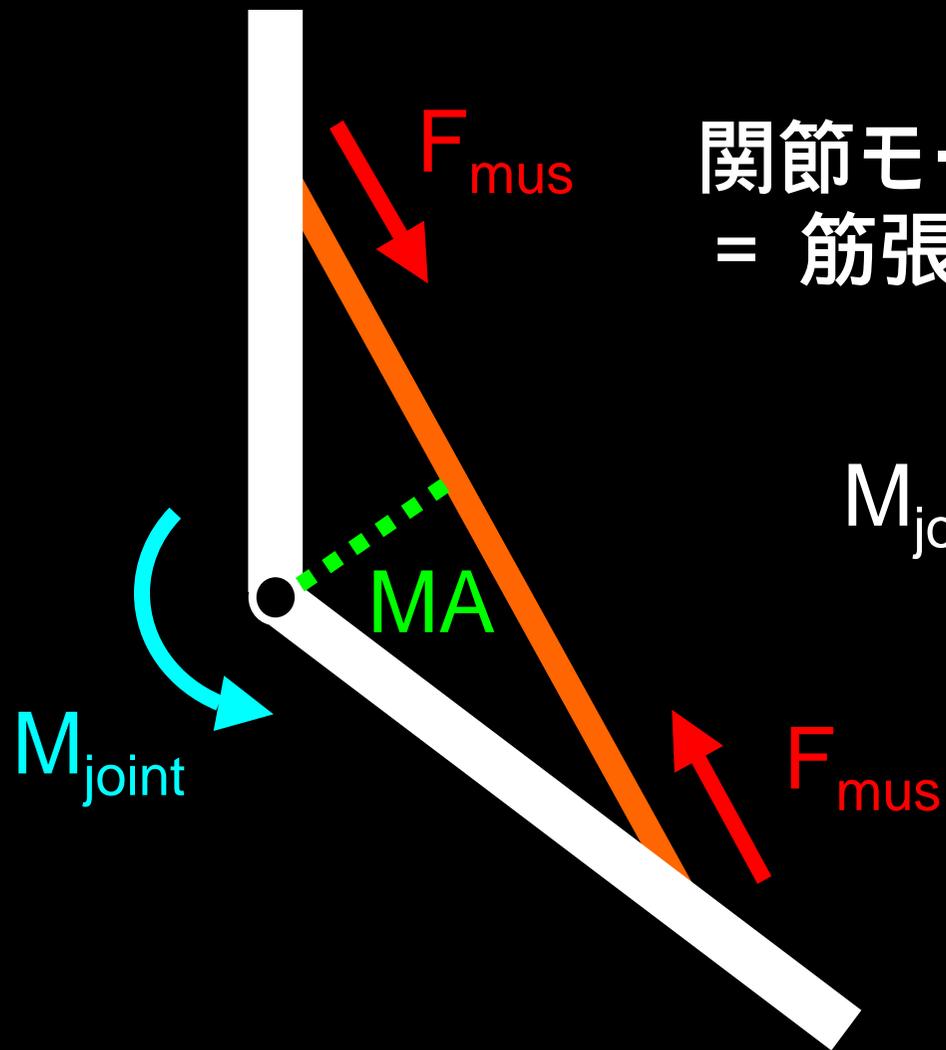
+16.62 cm

考察

- 筋の最大発揮張力が最も重要な特性である
- 膝関節伸展筋群が最も重要な筋群である
- トレーニングに伴った筋の刺激パターンの変更も必要である

モーメントアーム長が関節における 力学的出力に及ぼす影響

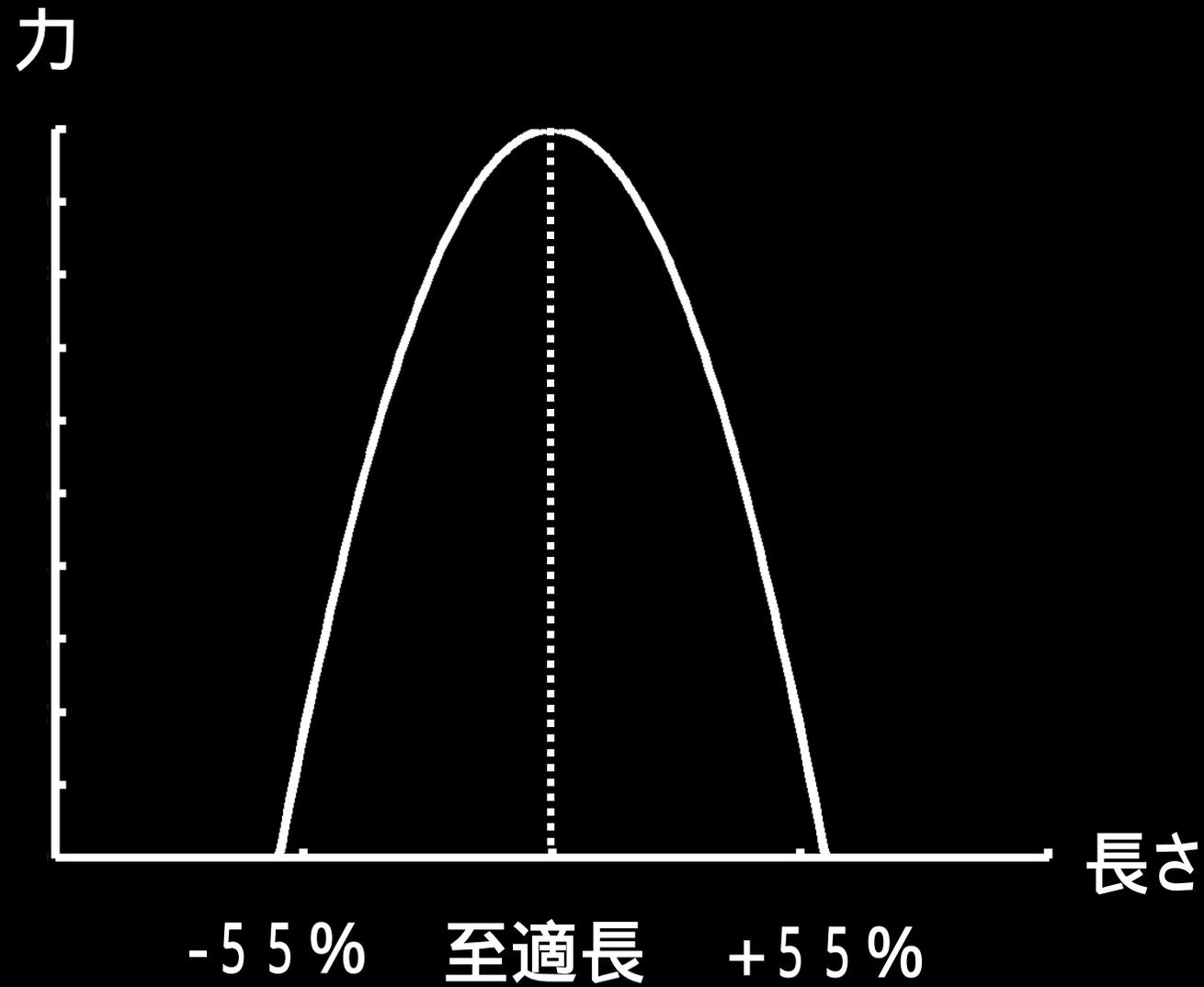
Nagano and Komura,
Journal of Biomechanics (2003)



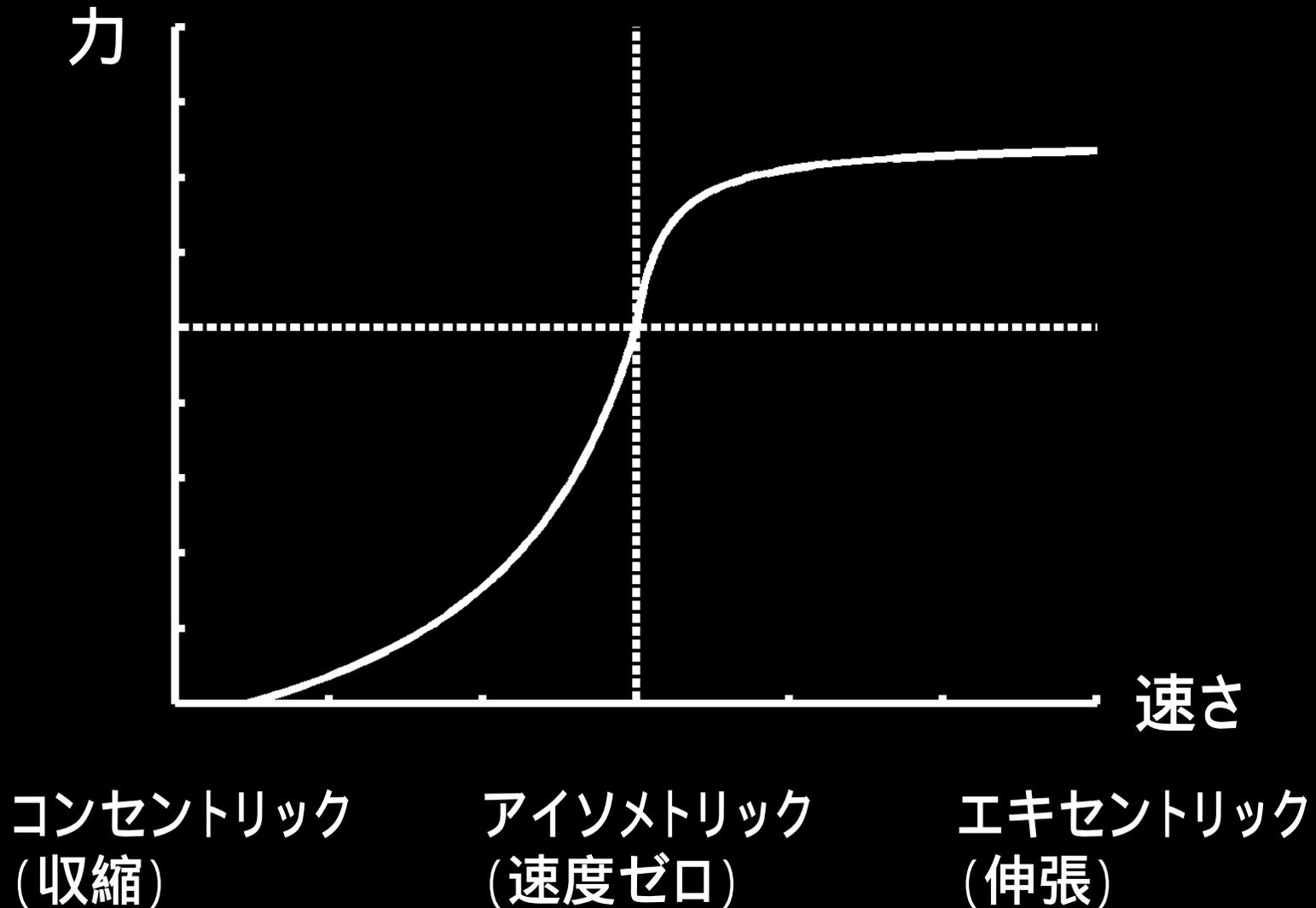
関節モーメント
= 筋張力・モーメントアーム長

$$M_{joint} = F_{mus} \cdot MA$$

筋肉の力 - 長さ関係



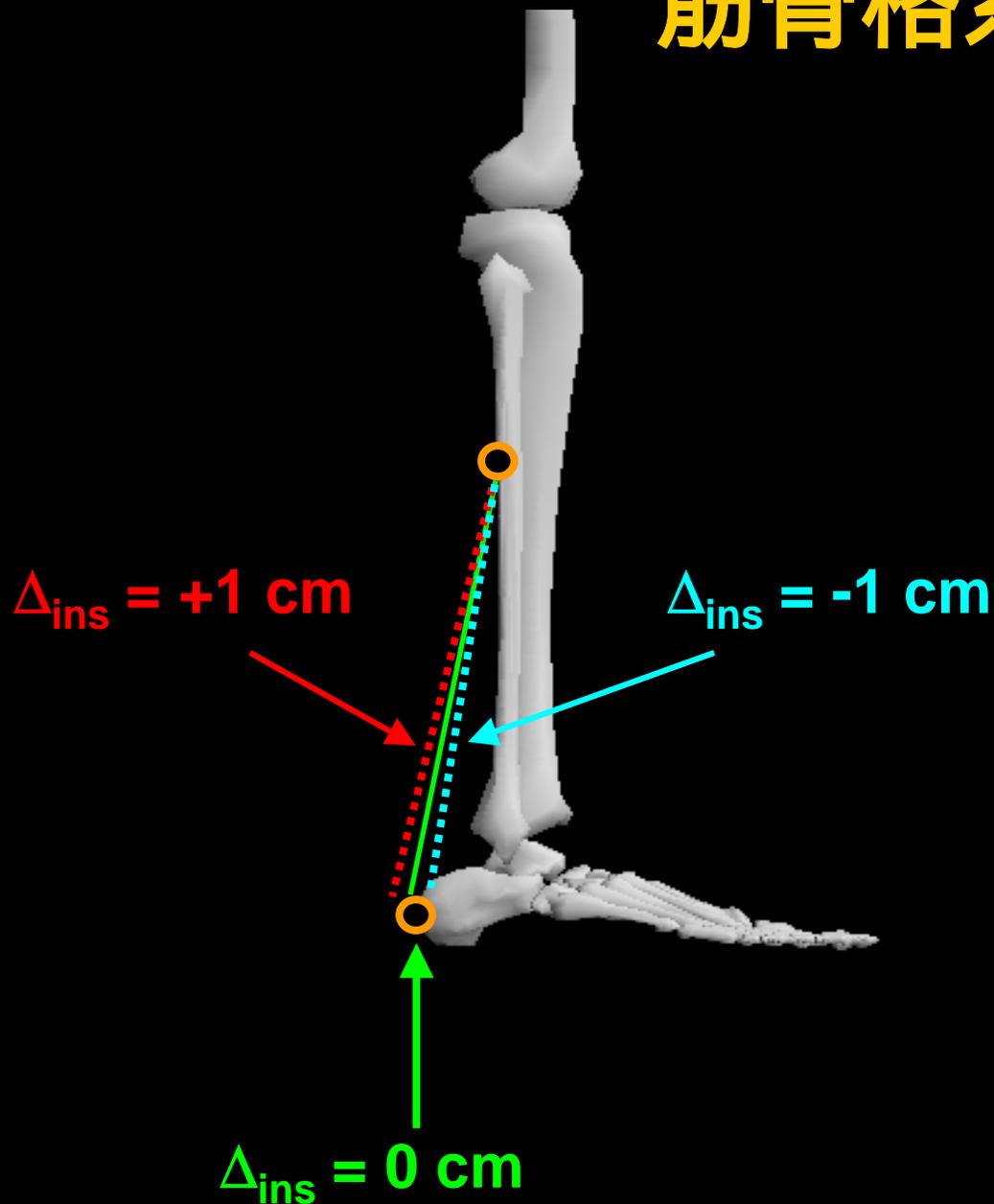
筋肉の力 - 速度関係



目的

- モーメントアーム長が関節における力学的出力に及ぼす影響を評価する
 - 筋張力
 - 関節モーメント
 - 関節パワー
 - 仕事
- ヒラメ筋(足関節)

筋骨格系モデル

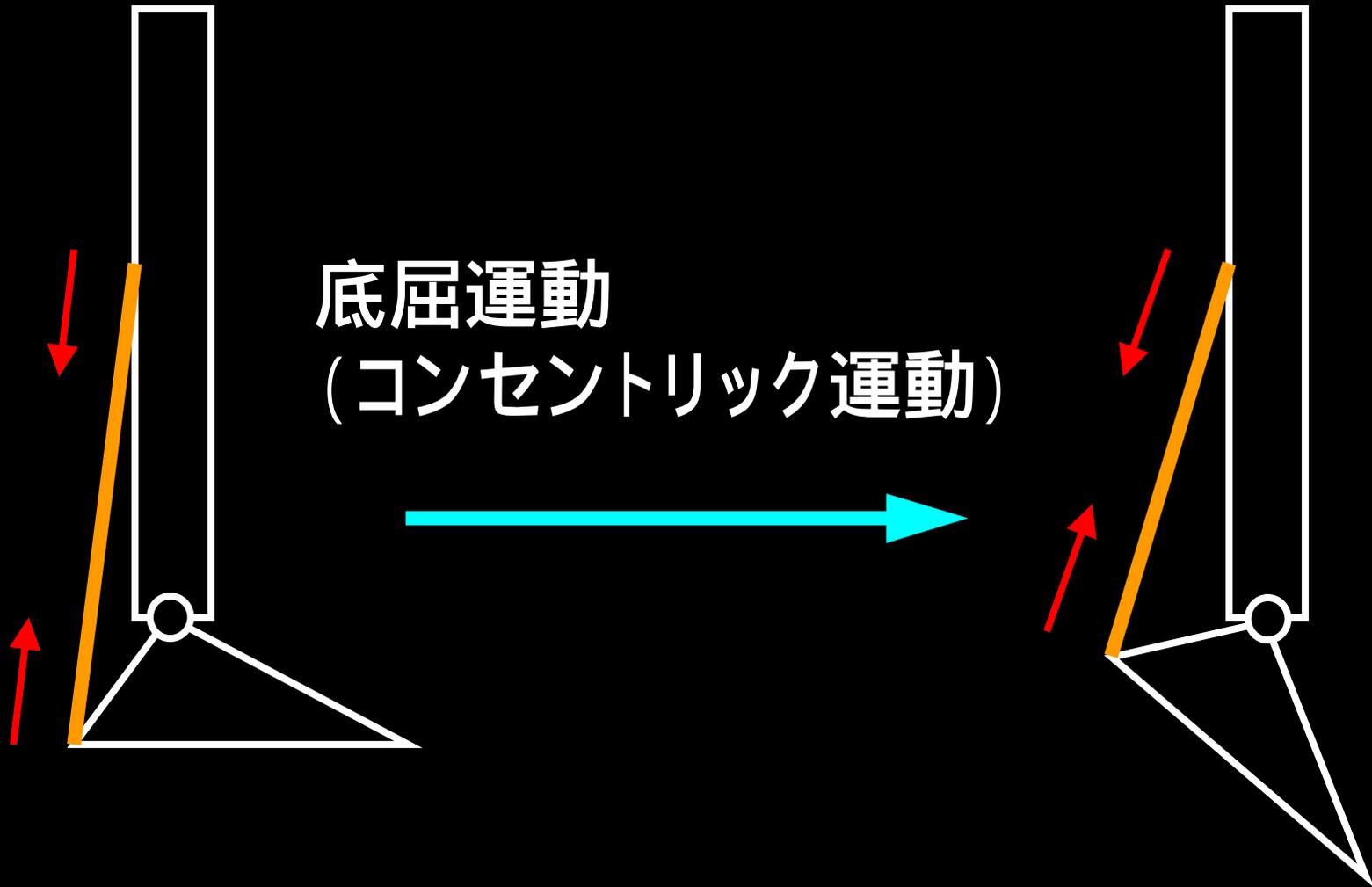


- DOF=1
- ヒラメ筋
- Delp (1990)
- 筋肉の付着部位を変化させた

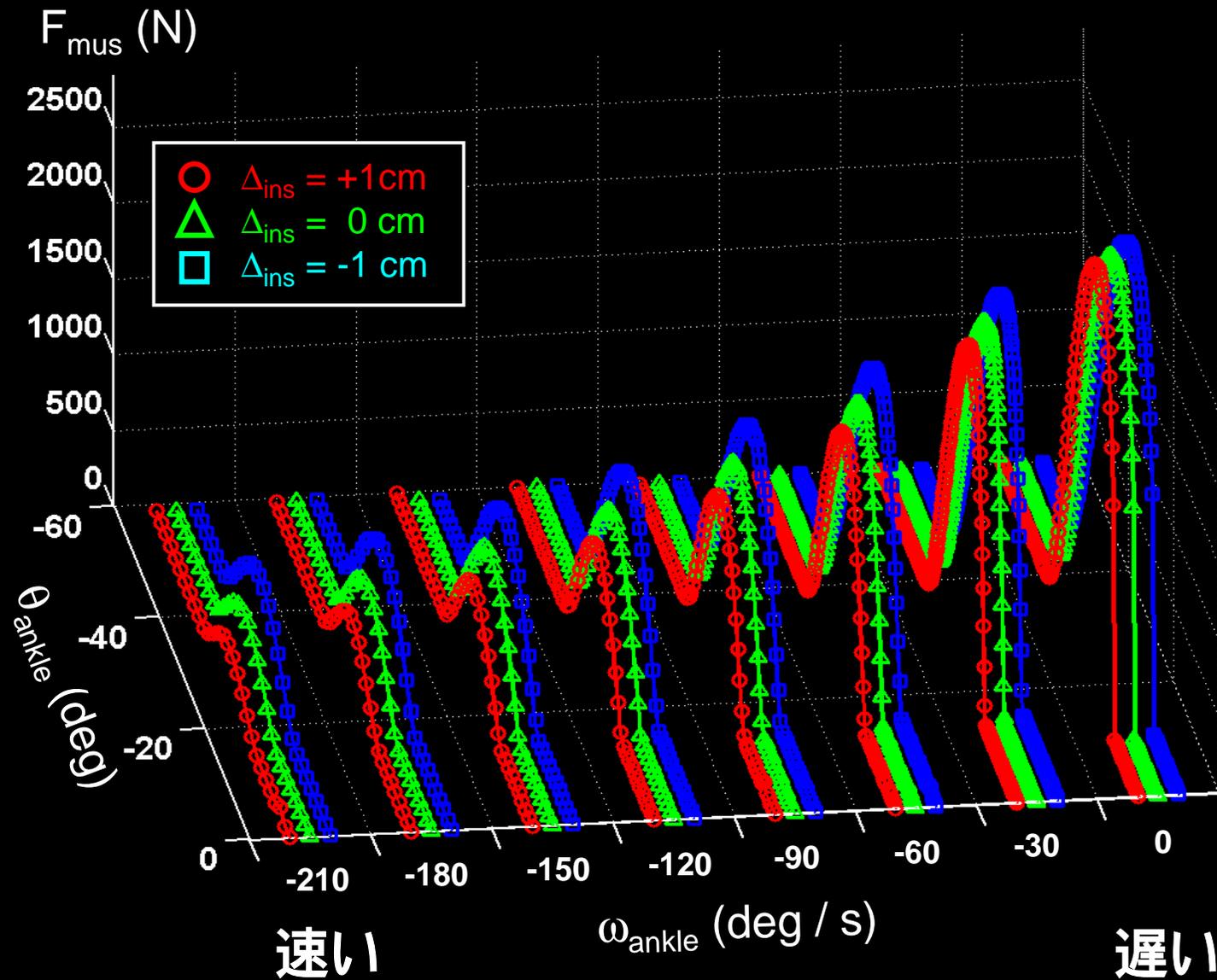
プロトコル

- ヒラメ筋を最大努力で収縮
- 足関節を一定角速度で動かす
- 様々な角速度
 - 底屈運動(コンセントリック運動)

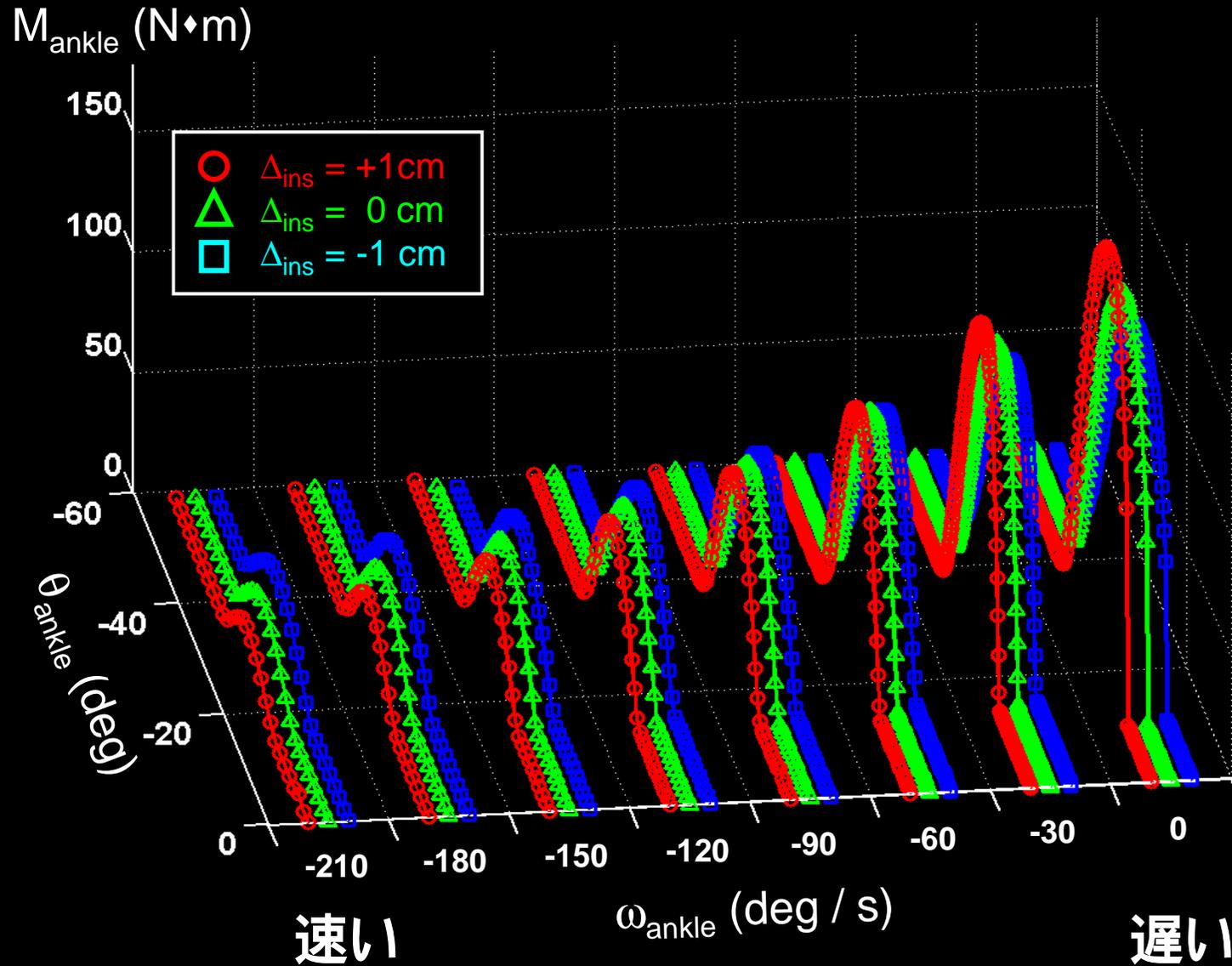
プロトコル



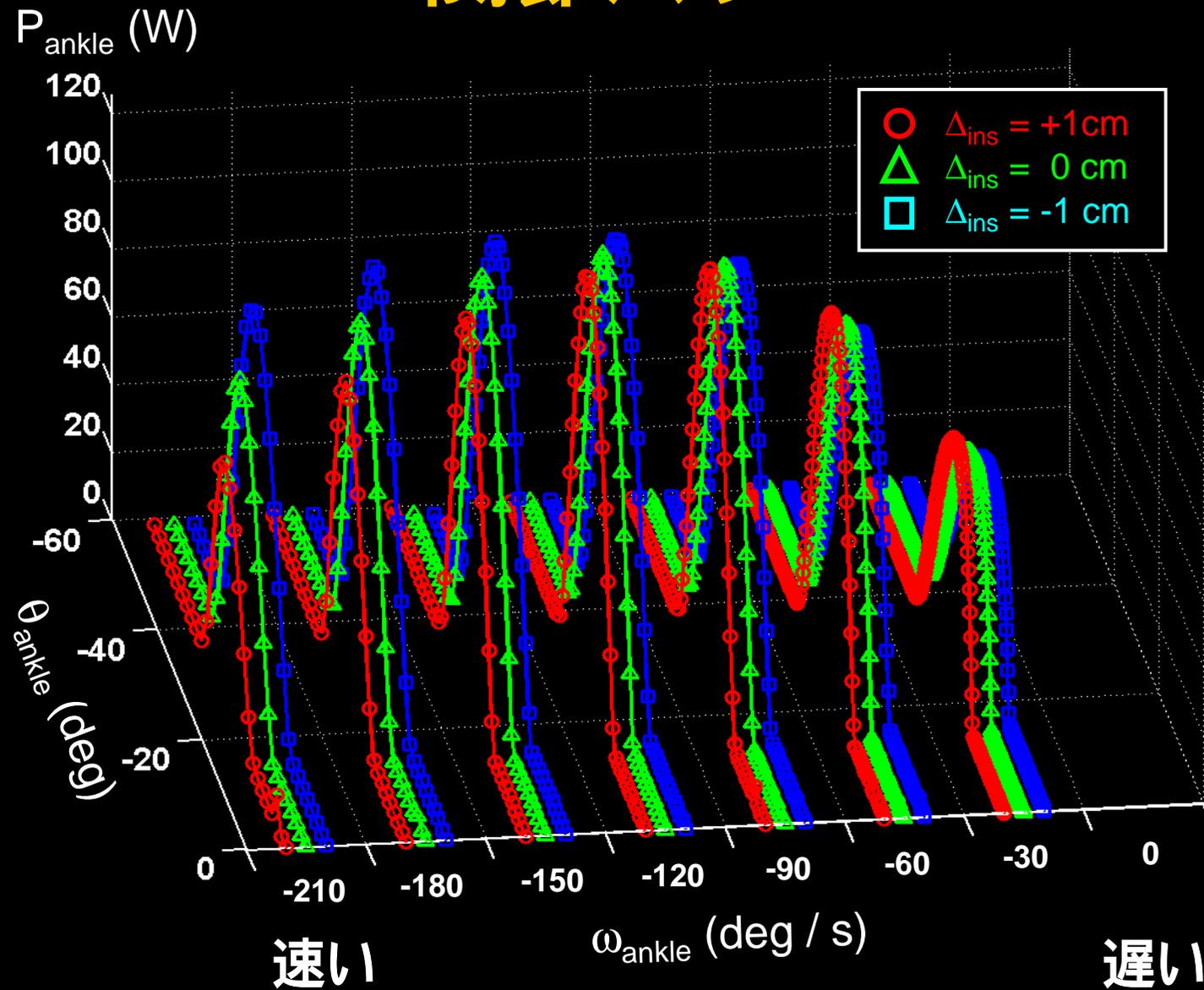
筋張力



関節モーメント



関節パワー



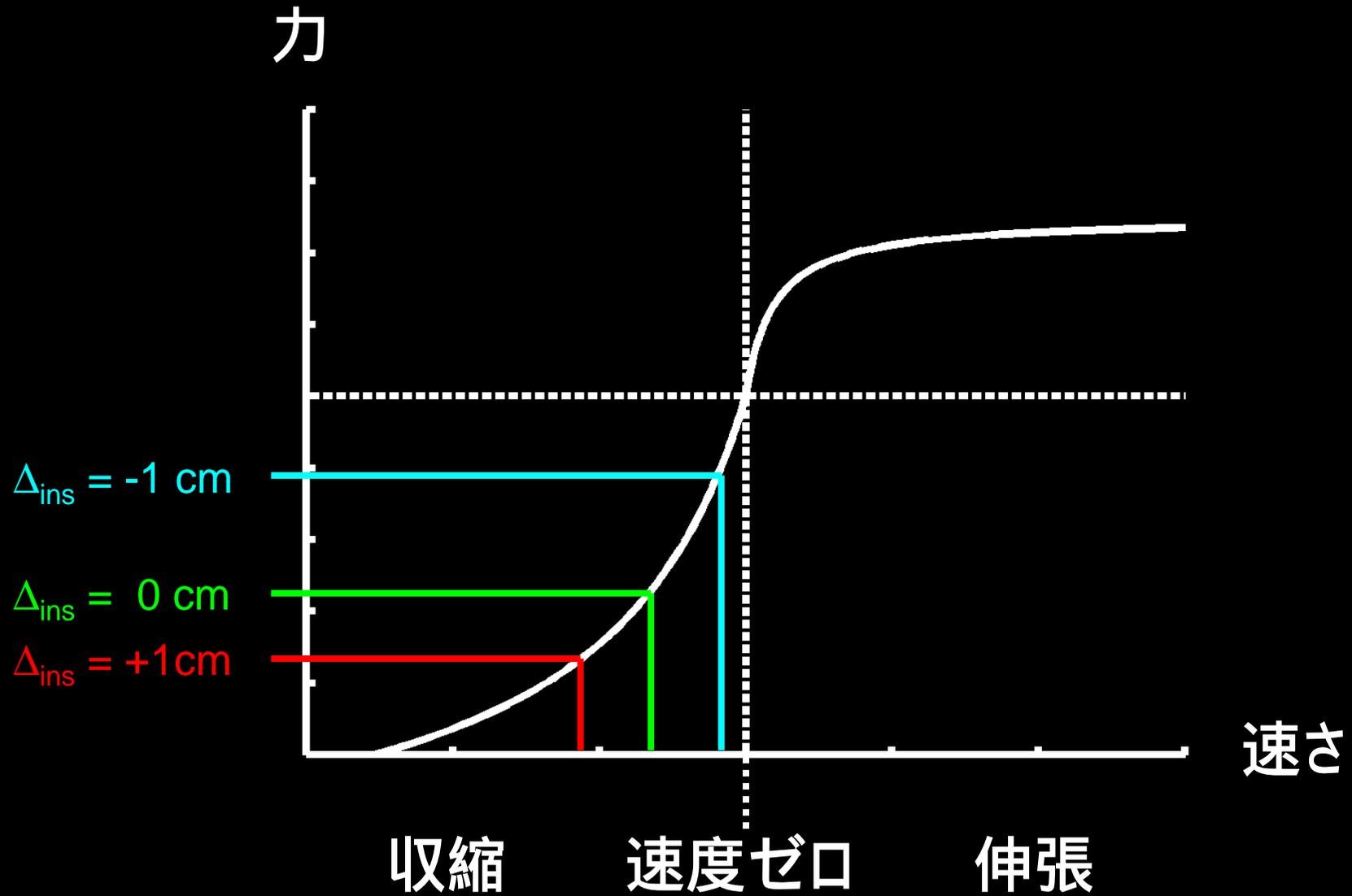
仕事

ω_{ankle} (deg / s)	W_{ankle} (J)		
	$\Delta_{\text{ins}} = +1\text{cm}$	$\Delta_{\text{ins}} = 0\text{ cm}$	$\Delta_{\text{ins}} = -1\text{cm}$
210	4	7	9
180	7	9	12
150	10	13	16
120	15	18	20
90	21	23	26
60	28	30	33
30	38	40	42
0	-	-	-

結果の要点

- 角速度が大きい際にはモーメントアームが短いほうが高い力学的出力が得られる
 - 120 rad/s
 - 筋肉の力 - 速さ関係に由来する

考察



考察

- 特に身体運動の速さが要求される競技において、モーメントアーム長が短いことが有利に働くことを示唆する
- 細身の運動選手が高いパフォーマンスを示すという観測との関連

今後の方向性

- より多様なスポーツ動作の考察
- 神経制御機構の考察
- リハビリテーション等への応用