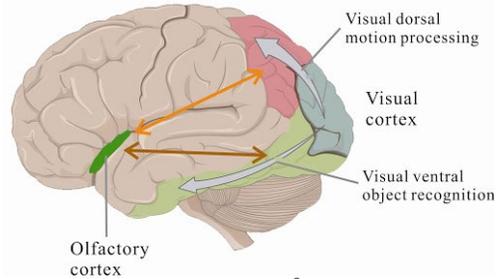


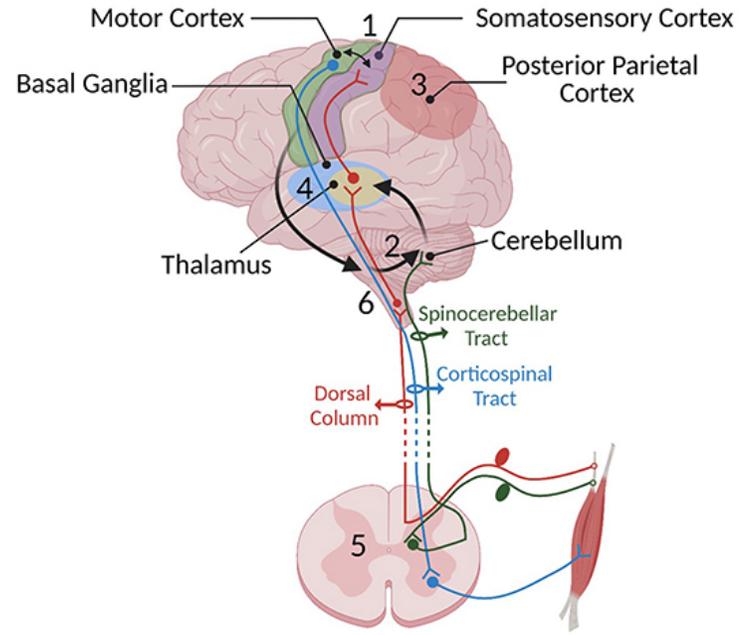
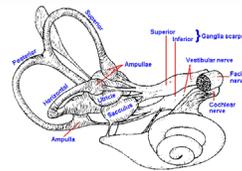
運動制御

環境



視覚

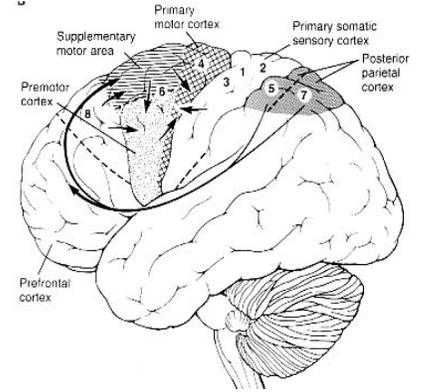
前庭 (三半規管)



運動野：皮質脊髓路 (錐体路)

大脳基底核

体性感覚野



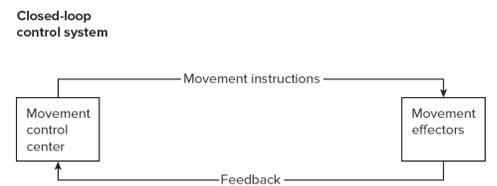
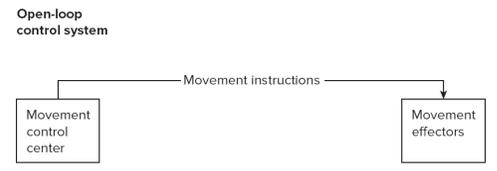
小脳

脳幹：錐体外路

脊髓：中枢パターン発生器
Central Pattern Generator

脊髓：介在神経 (抑制)

脊髓：運動ニューロン



末梢感覚器
求心性神経線維

筋 ⇒ 関節・体節を動かす ⇒ スキル 運動学習

一般化された運動プログラムの特性

Generalized Motor Program(GMP) Characteristics

運動プログラム：歩行、ボールを捕る、投げるなどに必要な**情報の表現**

変えない動き方 (INVARIANT FEATURES)

- 変えない動き方の特徴はGMPのことであり、固有の基本的特性
- **特定の運動スキル（パフォーマンス）において変えない特性**
- **固有のGMPの組み合わせ**は、あるパフォーマンスから別のパフォーマンスの特性においても変わらない。動きパターンの比率は全体のタイミングを変える
 - **一連の動き内の相対的時間パターン**は同じだが、トータルな時間は変わる。

<https://www.youtube.com/watch?v=1yoW5Ux1aR8>

力学系理論 (Dynamical Systems Theory)

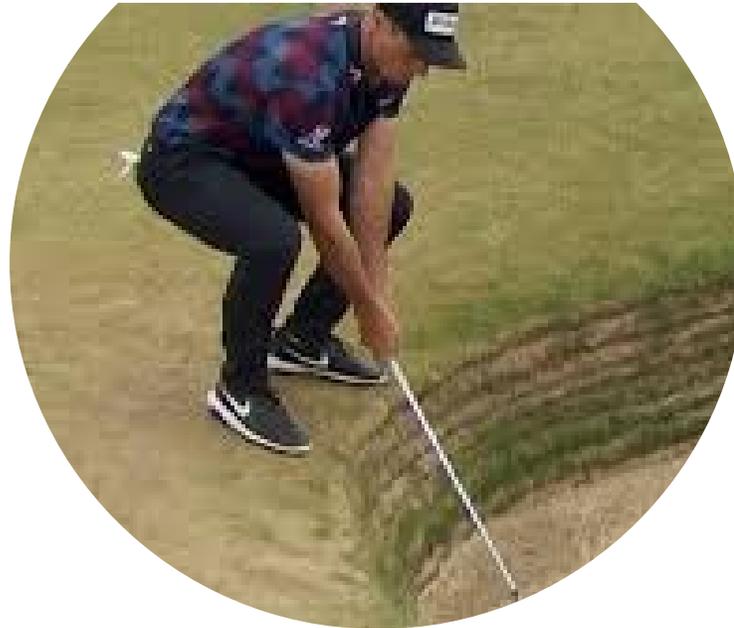
環境、身体と四肢の力学的特性の役割をコーディネートする動き (運動制御)

3つの制約される条件。それぞれの条件は他の条件にも影響を与える

- 1) パフォーマー
- 2) スキル
- 3) 環境

自己組織系 SELF-ORGANIZATION

- 課題や環境の制約条件の組み合わせに応じて行うスキル
- 環境・背景における課題解決、四肢の力学的特性内でコーディネートされた自己組織パターンの動作



行動の可能性 Affordances

- 環境下における人の特性と行動の相互適合性
 - 活動の機会を得る。環境、状況を確認
 - 人、物、環境に存在する関係性
- たとえば脚の長さや階段の高さの比率で「階段とばし」の可能性が決まる
- 環境内で最大運動能力を発揮

コーディネーションとその制御

随意運動

- 動きのパターン
- 引き寄せパターン
- 股関節から足関節までキネティックリンク
- 体節と関節のコーディネーションの歩行、走行
- 手を伸ばして物をとる
- 好みの動きからスキルに展開

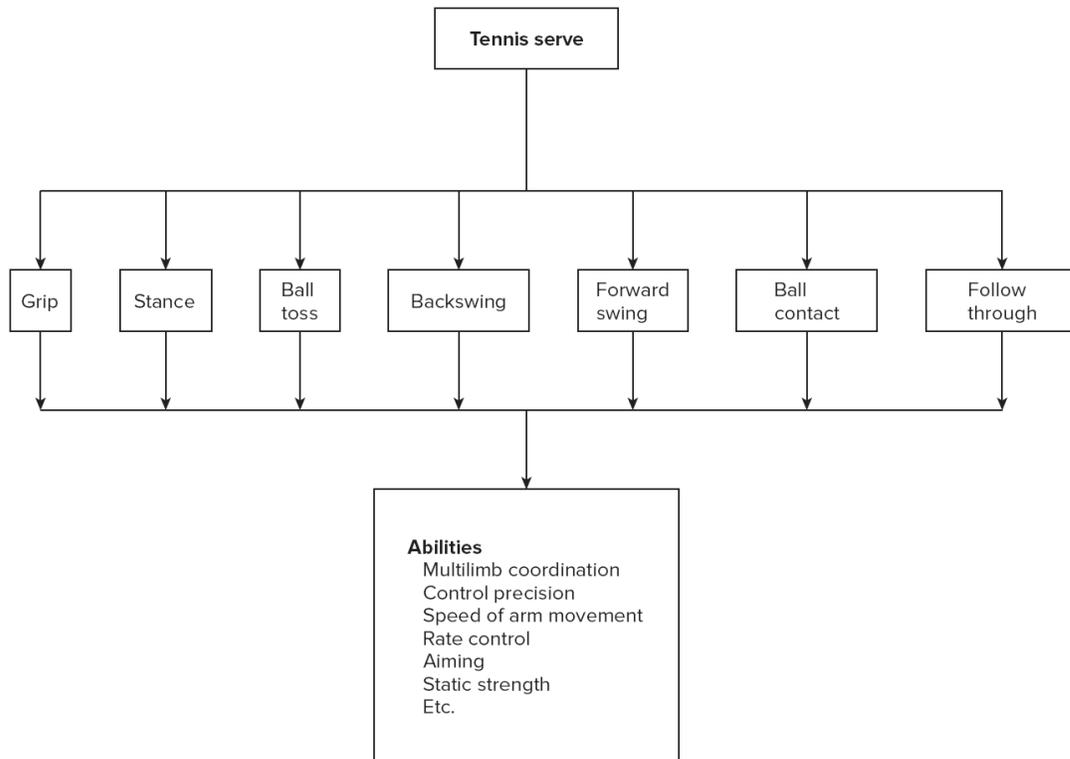
スピードやテンポ、リズムを制御

- 加減できる変数は動きのパターンの安定性に影響
- キネティックリンクのパターンと安定性が突然に変わる
 - トレッドミルの速度を上げることで歩行からランニング（遊脚期が出現）
- 運動制御の変数を変え適応性を高める

コーディネートされた構造

テニスサーブ

関連する筋肉と関節が予想で制約され、神経系によって一連の機能単位として活動し、スキル（テニスサーブ）を至適に調節する



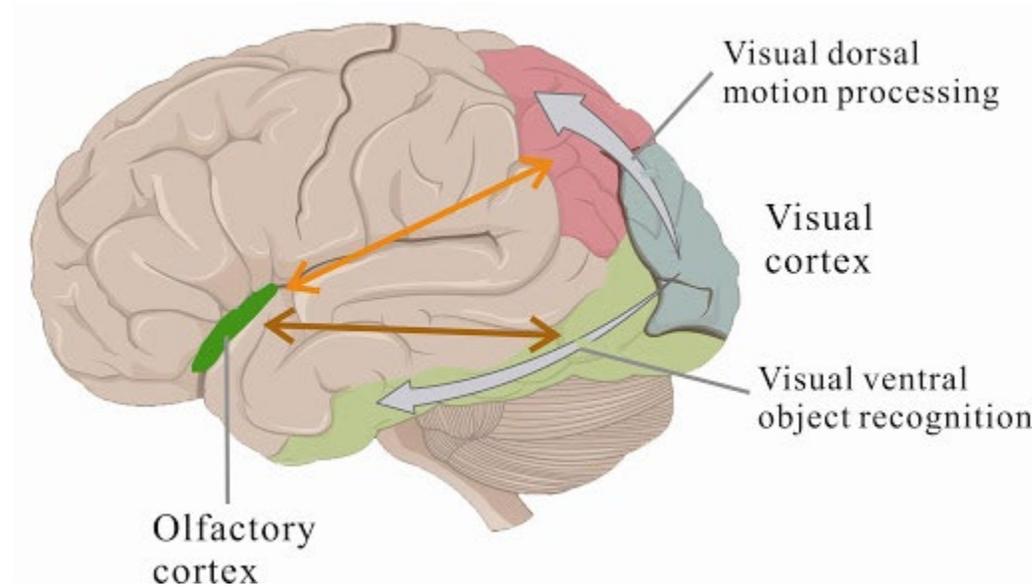
中心視野と周辺視野

知覚のための視覚（腹側皮質視覚路） vision for perception :
なに（**WHAT**）（中心視野）

- 形状、色、物の特徴を分析
- 視覚情報は、視覚野から側頭葉で処理
- 意識下で処理

行動のための視覚（背側皮質視覚路） vision for action : どの
ように（**HOW**）（継続視野）

- 情景特性と誘導の動きを検出処理
- 動的視覚情報は、視覚野から後頭頂皮質で処理
- 意識下では処理されない。注意を払う必要



知覚と行動の連結

Perception-Action Coupling

- 知覚：行動に必要な視覚情報の見つけ出し対応：**環境、基本情報**（物体、距離間）
- 行動：運動制御の特性で個人がスキルを達成する（クローズド運動スキル）
- 知覚と行動の連結：**時空間系列の視覚と手あるいは足のコーディネーション**
- **視覚と手、視覚と足のコーディネーション**のスキルを達成
（クローズドループシステム）ボール蹴る、ボールをバットに当てる、捕球、踏切
- 物体への視覚と四肢の動きのコーディネーション：予想、知識、経験次第

パフォーマンスと機能スキル

スピードと正確性の相殺

Fittsの法則: スピードと正確なスキルの運動時間を予測。

- 的の大きさ と 距離機能

運動時間 = $a + b \log_2(2D/W)$: aとbは定数、W = 的の大きさ、D = 開始のところからの的までの距離

- $\log_2(2D/W)$ は、**難易度インデックス : Index of difficulty (ID)**
- 的の幅が1 cmで距離が4 cmなら $\log_2(2 \times 4/1=8)$ で3
- 的の幅が2 cmで距離が8 cmなら $\log_2(2 \times 8/2=8)$ で3
- 的の幅が1 cmで距離が2 cmなら $\log_2(2 \times 2/2=4)$ で1
- 的の幅が2 cmで距離が2 cmなら $\log_2(2 \times 2/2=8)$ で2

a. Same ID for different distances and target widths:

ID = 3

Distance = 4 cm; target width = 1 cm



Distance = 8 cm; target width = 2 cm



Different ID for same distance:

ID = 1

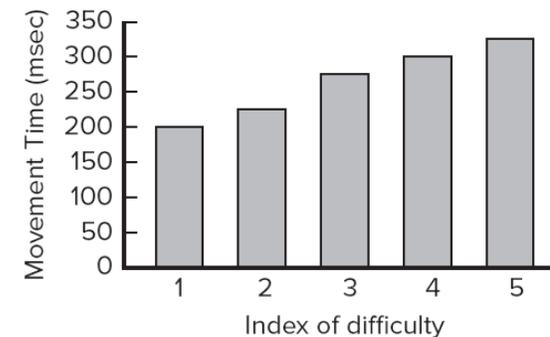
Distance = 2 cm; target width = 2 cm



ID = 2 Distance = 2 cm; target width = 1 cm



b.



両手調整スキル

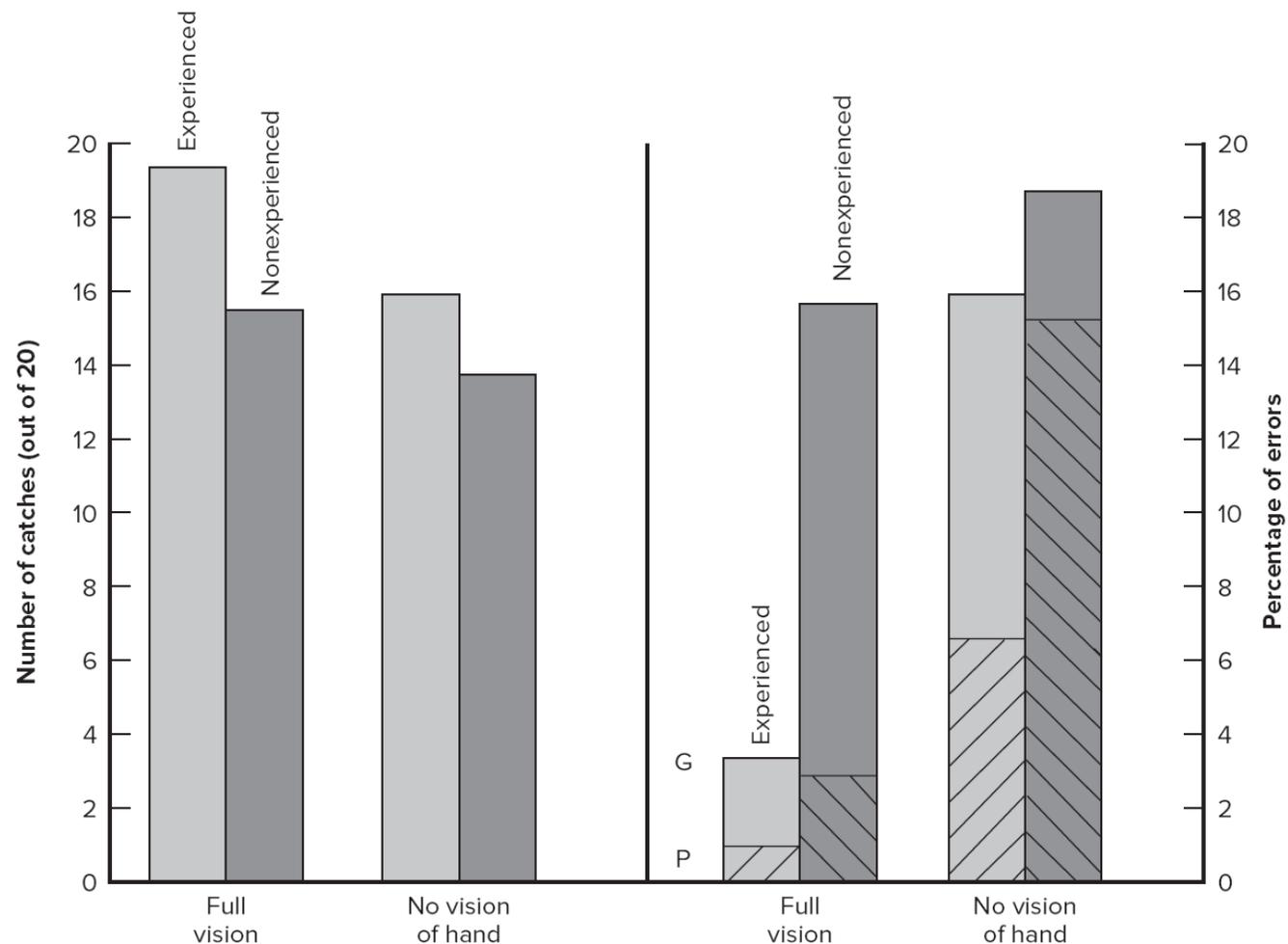
- 一般化された運動プログラム（GMP）
- 力学系理論（Dynamical Systems Theory）
- 最初、同時方向に連結傾向（引き寄せパターン）
- 左右異なる調整
- テニスサーブ、柔道の引手、釣り手
- 練習で各片手不安定から安定になる
- 空間的一時的個別練習が必要
- 「スピードと正確の相殺」
- 固有受容器を刺激
- 野手の捕球：「知覚と行動の連結」
- 分習法（テーマ6）



物体の視覚と捕る

動く物体と捕球の手の動きは周辺視野

- 野球ソフトボールの熟練者は、手を見ることができなければ捕球数は減るが、そのエラーは手の位置によるものではない。
- 未熟者は手が見えない時の捕球エラーは手の位置エラーによる



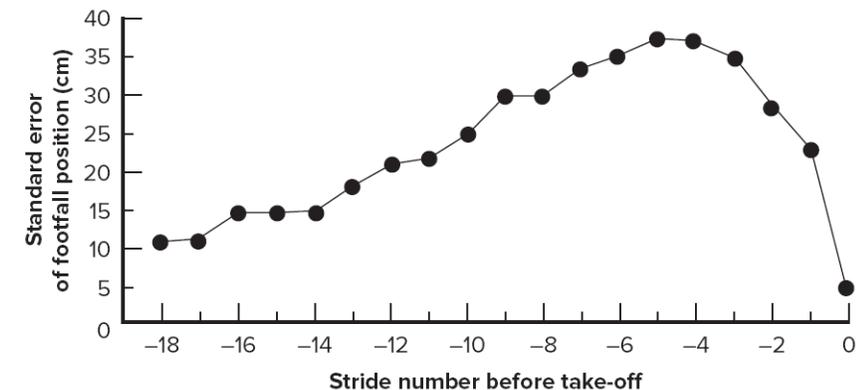
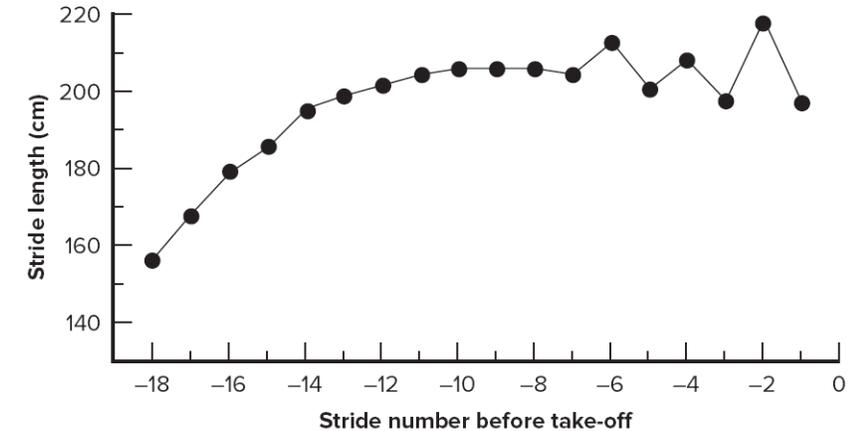
横軸は視覚の有無と手の位置の有無。縦軸は捕球数（左）とエラーの割合（右）。熟練者：薄灰色、未熟練者：濃灰色。捕球エラー [無地部 (G)] 手の位置エラー [斜線部 (P)]

走行と視覚

Locomotion and Vision

視覚は障害物を避ける、接触するのに重要

- 走り幅跳び選手が踏み切板を正確に踏み込むために **time-to-contact** を使う
- 視覚と足の動きを連結さ、視覚のアプローチを使う。
 - 助走は最大40 m
 - 競技者は助走路に一つあるいは二つのマーカがおける
 - **踏み切り板の手前で跳ぶ**
 - **最後のストライドはそれまでのより短くなる**
- 視覚情報と運動システムで身体と障害物の避ける
- 選手は状況に順応する



接触までの時間（Time to Contact）：視覚変数タウ（Tau）

- 物体に向かって動く、物体に接触する（避ける）
- 野球のフライボールを捕球
- 接触までの時間は、網膜に物体イメージのサイズの変化の割合（視覚変数Tau (τ) (optical variable) から特定。（距離と角度から推測可能）
- 視覚は、物体に接触するまでの時間情報を予測。このことで運動制御系が動きの初動とコーディネーションに働く
- 物体あるいは人のスピードに関係なしに、行動開始と物体接触が接触までの特定時間に「自動的に」起きる

スピードと正確なスキル期

スピードと正確性相殺における視覚情報の役割

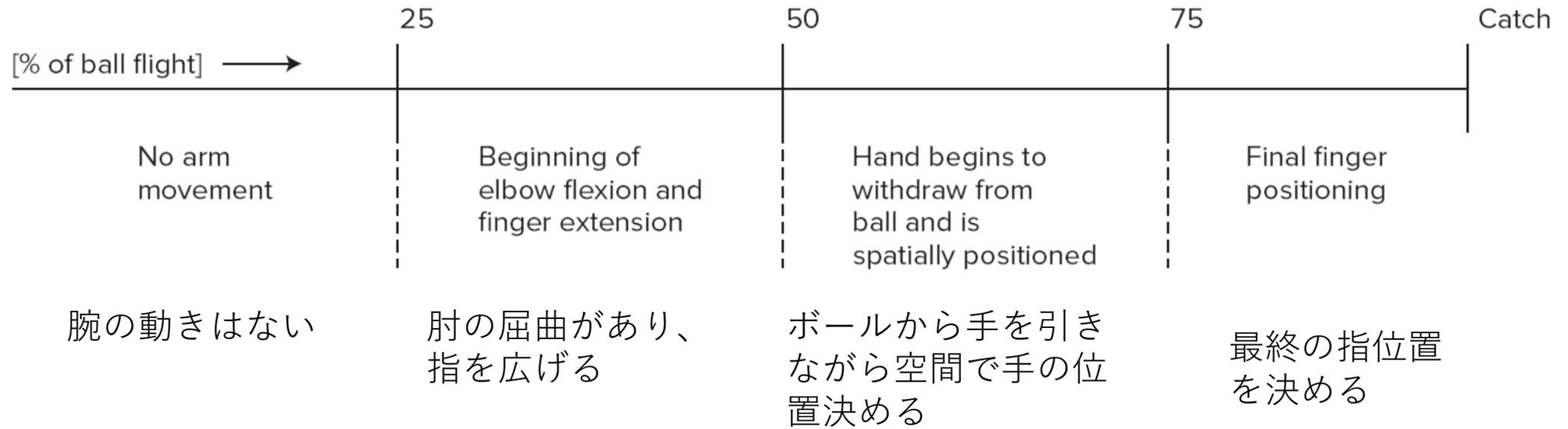
- 準備期：行動、環境を中心視野で決定
- 開始空中期：接触50%まで手の移動と時速を周辺視野で確認
- 最終期：鍵穴に鍵を指す時を中心視野で決定
 - 中心視野⇒周辺視野⇒中心視野

Goodale and colleagues. (1991, 2005)

- 物体の大きさ、距離に関係なく、**運動時間全体の約2/3で**
カップ口と手の閉じは起きた



捕球

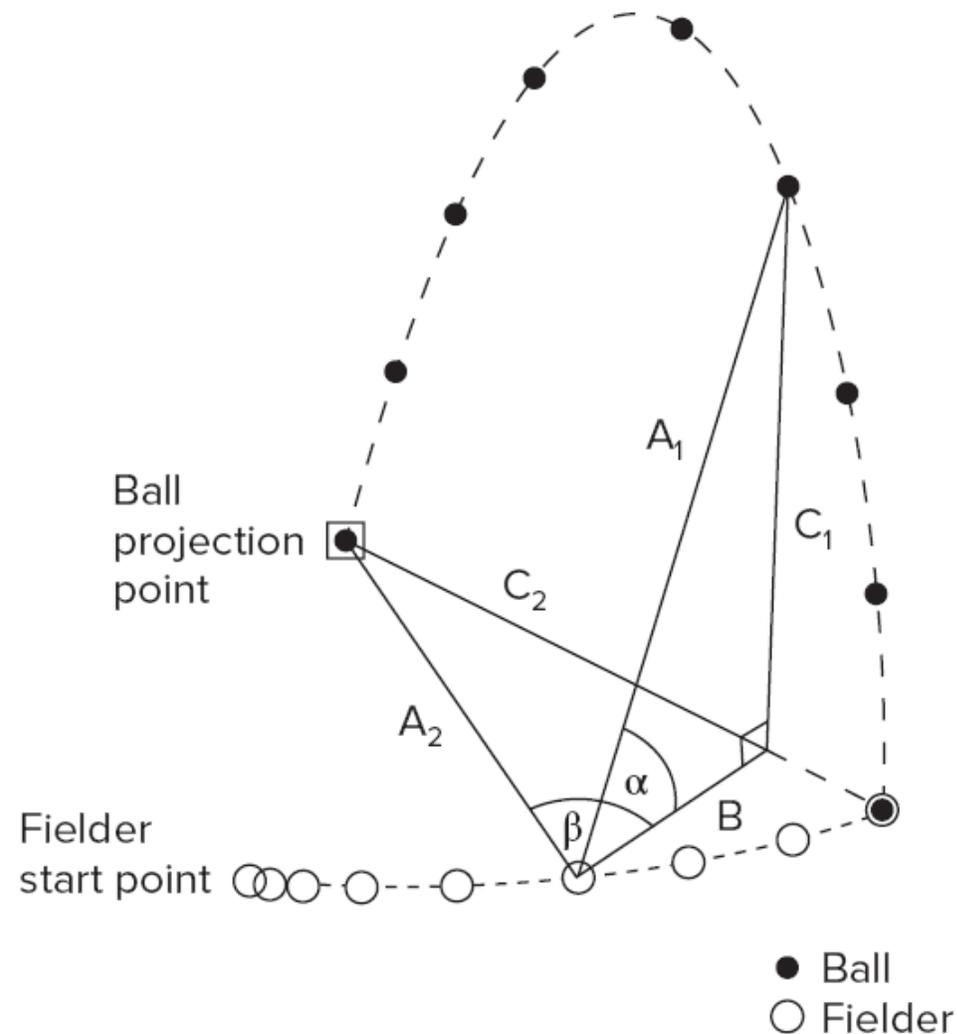


物体の軌道と着地点

ボールの飛び出しから着地点までの軌道

野手はボールの飛び出しから離れて守っている

- A1とC1の線は、空中のボールと野手の位置を示し、ボール着地点を描く
- A2とC2はボール飛び出しから野手の位置とボール着地点を結んだ線
- Bは野手とボールまでの距離。角度 α はA1とBのなす角。は角度 β はA2とBのなす角度
- ●はボールの軌道
- ○は野手の走行軌道



McLeod. Toward a unified fielder theory: What we do not yet know about how people run to catch a ball. J Epxrimental Psychology: Human Perception and Performance. 2001;27:1347-1355

投球の打撃

- 投球から打撃まで（バットを振り始める）
- 打撃はtauに基づく
- バットのスイングは一定

打撃は知覚と行動の連結

MLB選手と大学選手の違い

- 打者は、打撃まで継続的にボールを追うことができない。実質的に不可能。
- 打者はある地点までボールを追うが、そのあとはボールの接触点を予測したところに視覚を移す
- MLB選手は、大学選手より長くボールを追うことができる。大学生はプレートから2.74 m (9 ft) まで追える。MLB選手はプレートから1.68 m (5.5 ft) までボール追うことができる
- ボール追跡の間、MLB選手の頭の位置の変化は少ない

視覚と握る動作は連結 perception-action coupling

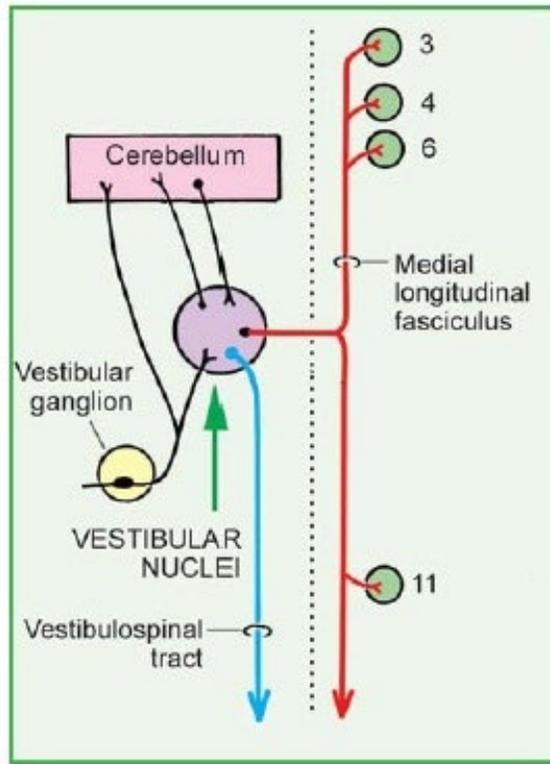
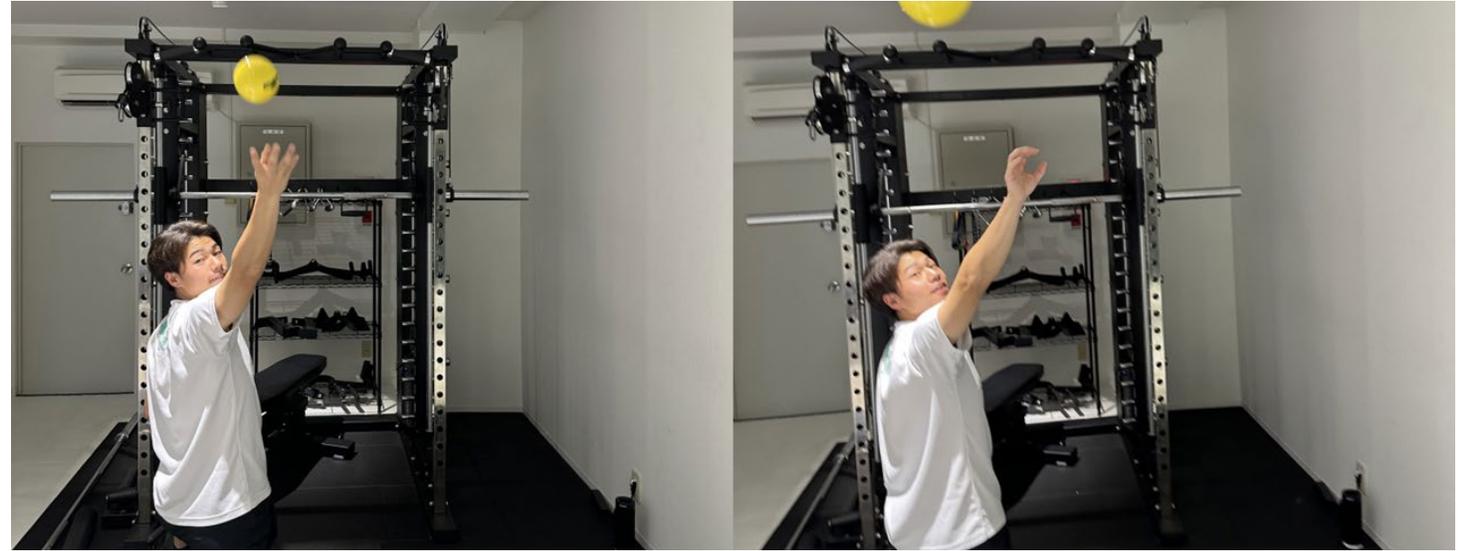


Fig. 10.8. Connections of the vestibular nuclei.



頭と眼の動きの連結：前庭動眼反射

脳幹に位置する前庭核が脳神経3（動眼）4（滑車）6（外転）に接続。情報は小脳へも送られる

同時二重課題（dual task）：片膝立ち背後ボールトス捕球からリバース投げ

仕掛けと見込みの影響

- 反応時間に影響を与える要因は、事前情報の正確さの見込み
- 損益取引
- 損失は反応時間の遅れ
- 利益は反応時間の短縮
- 可能性における事前行動の偏見結果

