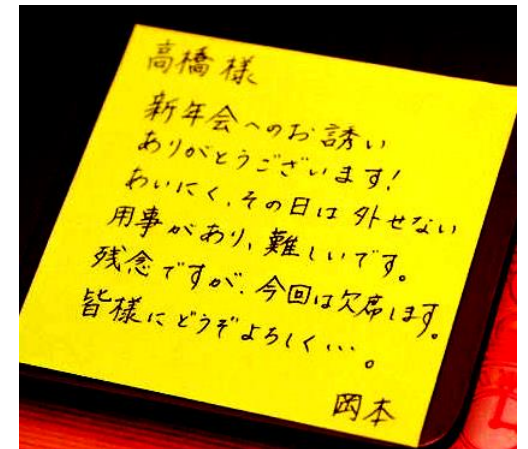
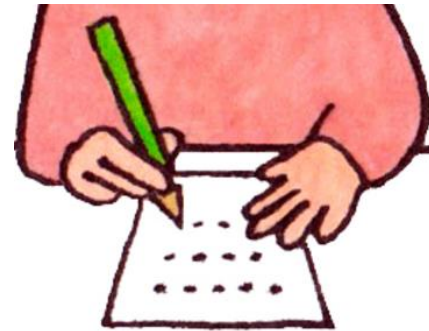
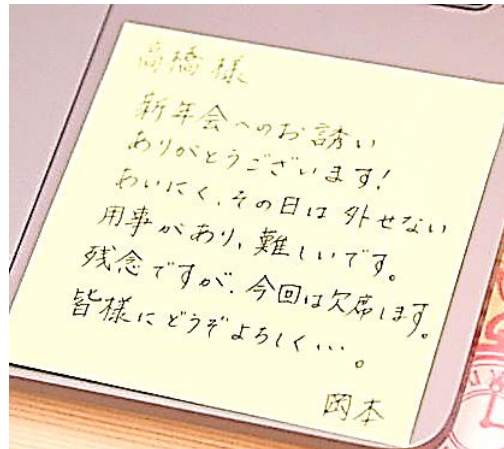


理学療法理論
理学療法士は何を根拠に治療
をするのか？
その根拠はどこから来るのか？

10th

ICE BRAKING

- まず 文章版伝言ゲームをやってみよう
- あなたの前の人が書いたメモの文章を20秒ほど見て、覚え、新たに書き出して、合図に従って次の人に見せます。



もし理学療法がその場の思い付き、または、ごく少ないパターンの繰り返しで行われているだけだとしたら・・・

-
- ・ ファーストフードの仕事みたいです
ね・・・
 - ・ でも、人のけがや障害は同じようなものであっても、年齢も性別も、復帰先の社会環境も、求められる動き方（スポーツなら種目、ポジション・職業人ならデスクワークの姿勢、作業内容に応じた動き方などなど）はひとりひとり違う・・・
 - ・ ではどうするか？



私たちは**何を根拠に**理学療法を行うのか

- <https://jrecin.jst.go.jp/seek/html/e-learning/900/lesson/lesson3-4.html>

PTやOTは人としての哲学・倫理に基づいて

正しく伝えられるルール（理論）に則った研究

から導かれた事実＝エビデンス（証拠）が根底になれば、数回は偶然で上手くできたとしても、再現の乏しい、単なる思い付きと経験の世界で行われる戯言（たわごと）になってしまう。

PTやOTが全く医学と同じ理論に基づくだけなら、存在価値はない。

ある患者の問題について、医学で答えが出なくても、PT・OTから答えが出せなくてはならない。京大はそういう意味で敢えて

PT・OTを大学で教育研究すると決意した。

（大塚哲也、元京都大学教授）

基本情報



理学療法と作業療法 20巻3号（1986年3月）

電子版ISSN

印刷版ISSN 0386-9849

医学書院

理学療法と作業療法 20巻3号（1986年3月）

インタビュー PT・OTの世界

教養と人格を備えたPT・OT育成を目指して

大塚 哲也¹

¹京都大学医療技術短期大学部作業療法学科

pp.196-197

発行日 1986年3月15日

DOI <https://doi.org/10.11477/mf.1518103532>



PDF(1215KB)



有料閲覧

人間を理解するための学問とされるもの

- 一般に教養と呼ばれる
- 一般社会と自然科学の摂理を表している
- 生涯学び続けるものである
- 物事の判断を行うときに**根拠**となるもの
- 物事の**成因と価値**を表す（**考える**）ときに用いられるもの

（岩崎. 考えるために. 講談社. 東大哲学科）

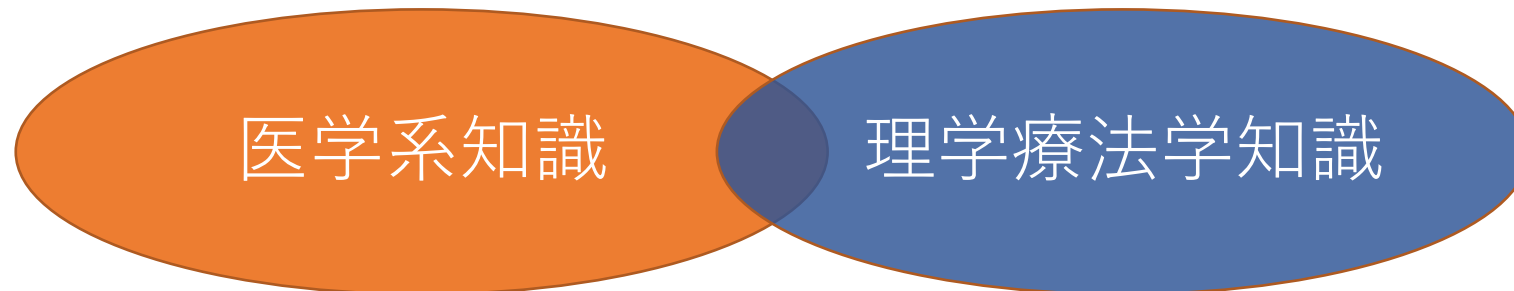
人文系・自然科学系・語学などと分類される・・・

専門の学問の基礎であり、高等教育として義務教育の上位にあるとされる

その考え方（内容）が誰の目でみても、頭で考えても肯定され、再現性または反証できる（体系的という）ものが学問である

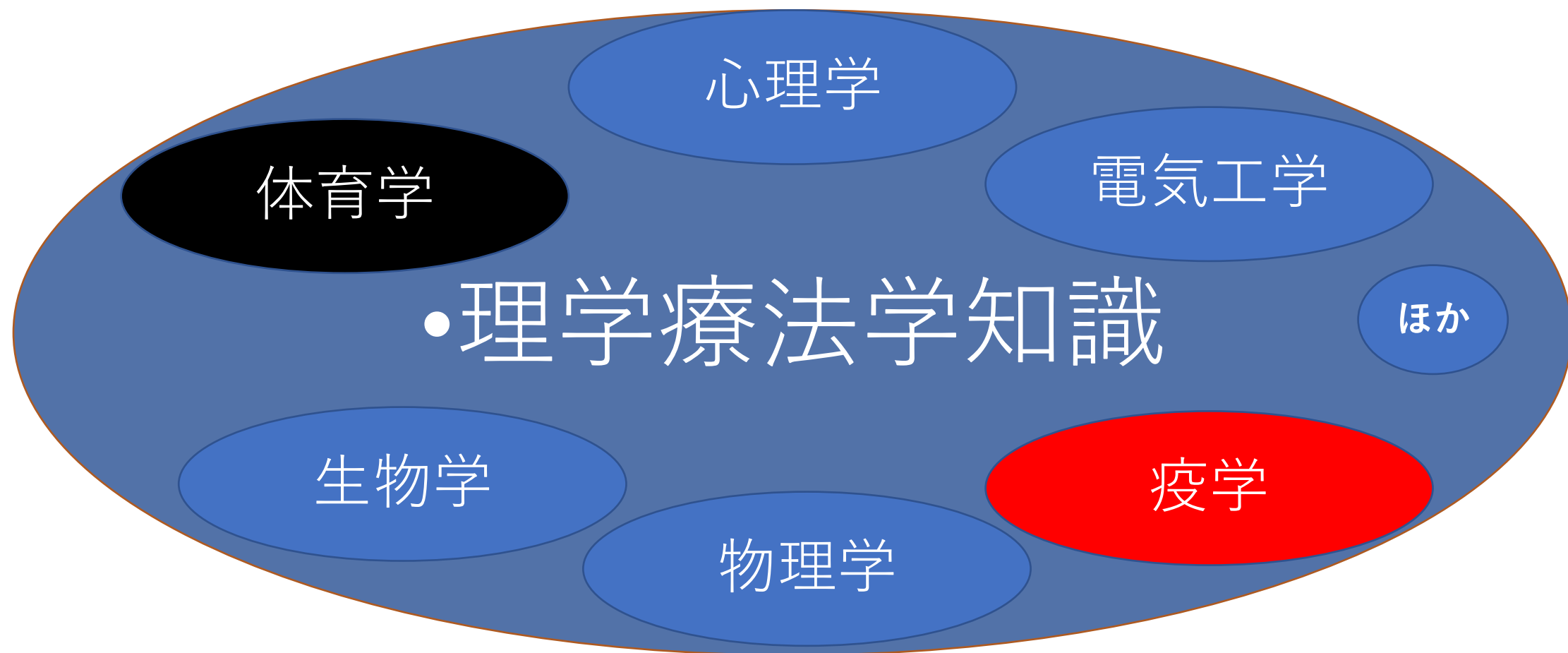
理学療法を構成する学問と周辺の学問

- **医学（30％）と公衆衛生学（10％）**
- **心理学（社会心理学、行動科学）、物理、情報学、社会学（10％）**
- **理学療法固有の技術・判断に関わる基礎学問（25％）**
- **理学療法遂行に関わる理学療法科学（25％）**



理学療法がなくても存在する関連学問と 真の理学療法学とは？

- 解剖学
 - 生理学
 - 運動学
 - 心理学
 - 社会学
- これらは、**理学療法がなくても独立して存在する関連学問**であり、人間の動作や運動の仕組みの解明などは理学療法構成学問であるが、**理学療法そのものではない**。
- **理学療法学は、医療にとどまらず、広く人間の健康に関わるもの**であり、理学療法を介入することで、それを必要とする人間の生物・生活・人生の各層の問題が改善するプロセスのすべてを含み、絶え間なく**根拠を示す総合的な技術の記述と判断の過程の開発を備えた体系・理論である**。また単なる運動療法や物釣り療法の治療技術のノウハウを記述するものではなく、記述にあたっては疫学のルールに則り、再現性と反証性を伴う有効性を証拠として示すものである。



根拠って何

■ 論証の定義 ■

何らかの理由をもとに、何らかの結論を出すこと。

クリティカル・シンキング
こそ根拠を求める基本。



グレイザーのクリティカル・シンキングのために 重要な3つの要素

1. 自分の経験に照らして問題や**主題を偏ることなく吟味**して評価する
態度

An attitude of being disposed to consider in a thoughtful way the problems and subjects that come within the range of one's experiences.

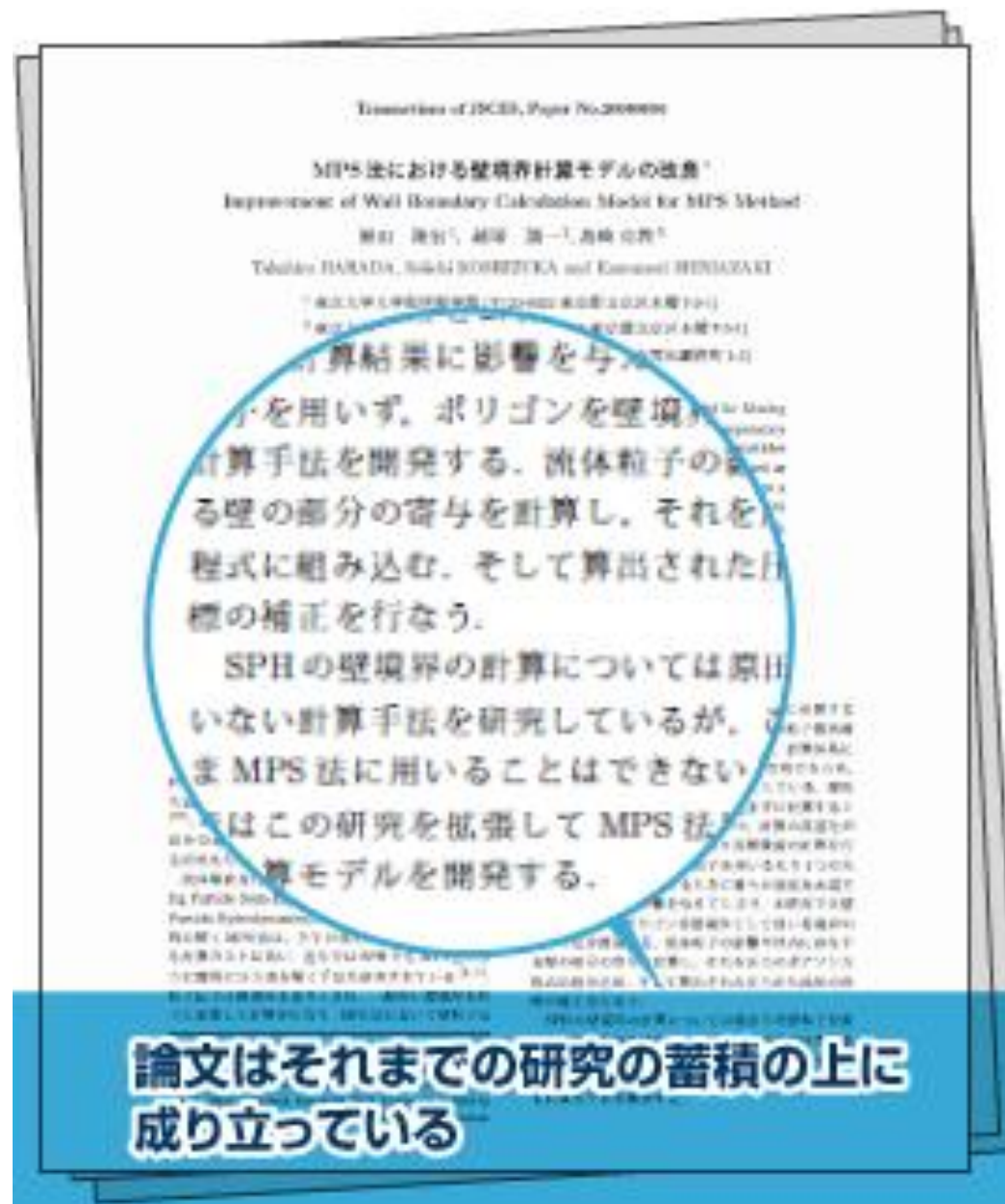
2. **論理的な探求や推論の方法**に関する**知識**
Knowledge of the methods of logical inquiry and reasoning.

3. それらを**適用するいくつかのスキル**
Some skill in applying those methods.

- [\(Edward M. Glaser, An Experiment in the Development of Critical Thinking, 1941\)](#)

経験の影響（先入観）を除いて、**何かの基準**をもとに論理的に考えること

研究活動として論文を読むこと



- 科学論文は、研究者の成果を単に記録しただけのものではありません。そこには、**それまでの先人の研究成果の上に、自分なりの仮説や理論を加えて、実験や観察で得られた事実を基に、論理的な探求や推論を行ってまとめられた研究成果が示されている**のです。そのことを踏まえて読むことで、他の研究者の成果を理解するだけでなく、自らの新たな研究課題を見出し、研究領域を深める機会になります。

「言葉」は、モノが存在するようには存在しません。それが指し示す現実とその都度契約を結ぶことで存在し、その契約の範囲で使われることではじめて適切に機能するのです。

この契約を破ったとたん、その言葉が含まれる文章は現実との「整合性」を失って、「論理的」ではなくなってしまうのです。



「言葉」と「それが置かれる文脈」の間の整合性をコントロールするのが一番難しい

その言葉を使う人と、その言葉を読む人の関係性を踏まえて言葉を使わなければならないから。

- 9歳の子供が宿題で書いた作文があるのですが、その中に次のような一文がありました。

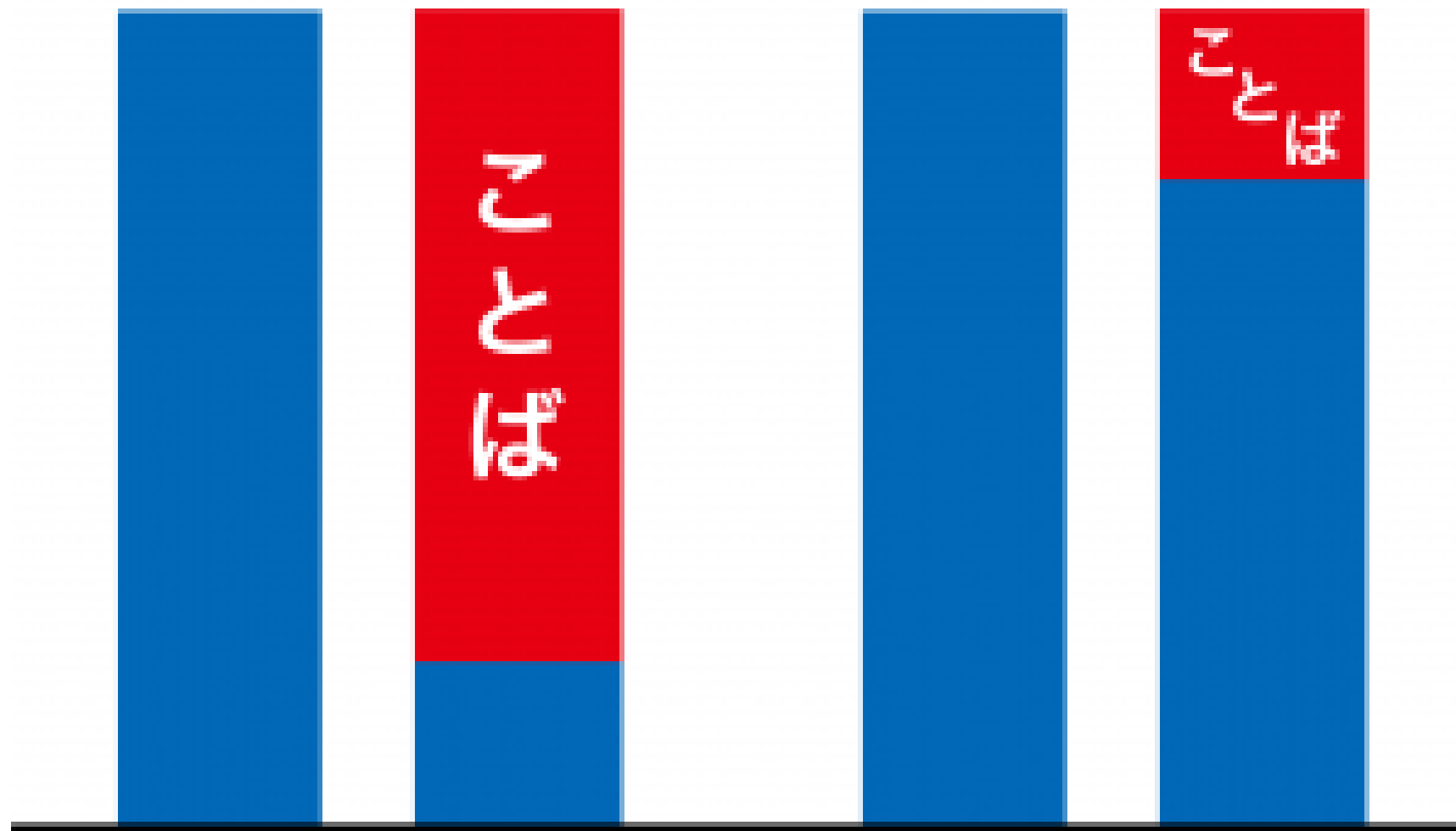
「明日は月曜日なので、切手を買わなければなりません。」

- **そしてこの一文は、私にとっては十分「論理的」なのですが、おそらく担任の先生や、事情を知らない人には「非論理的」で何のことだか分からないでしょう。**

- 種明かしをすると、これは彼が毎週「週刊少年ジャンプ」のアンケートはがきを出しており、そのはがきをだすための切手を明日は買わなければならない、ということなのですが、そのことを知らない人には、何のことだか分からないはずです。

ギャップ 大

ギャップ 小



- 青い部分が書き手と読み手で共有されている情報量です。
- そしてざっくり言うと、**コミュニケーションというのは、この情報量のギャップを埋めるために行われるものです。**

- 共通の情報量が多ければ多いほど、その差を埋めるための言葉は少なくて済み（=**私は彼の文の意味が分かり**）、共通の情報量が少なければ少ないほど、その差を埋めるための言葉は多くなる（=**他の人が彼の文の意味を理解するには補足説明が必要**）ということになる。

- （ちなみに、この共通の情報量が多い、文脈依存性の高いコミュニケーションのことを「ハイ・コンテキスト・コミュニケーション」、逆に共通の情報量が少ない、文脈依存性の低いコミュニケーションのことを「ロー・コンテキスト・コミュニケーション」と呼びます）
- そしてこのようなお互いがもつ情報量の違いによる理解度の差（＝同じ文が論理的に見えるか見えないかの差）による「誤解」は、あらゆる文章で起こりうる

- ・ 専門家同士でないと理解できない文章
- ・ 同じ組織に属している者同士でないと通じない文章
- ・ 読者が素人だと思うあまり説明が詳しすぎて、かえって分かりづらい文章

これらは、相手がもつ情報量を見誤った時に発生する文章です。（そしてじつは一部の読者にとってはまったく問題の無い「論理的な文章」だったりするのでさらにやっかい

- なるべく多くの人に自分の文章を「論理的」に感じてもらうためには、自分の文章を誰が読むのか（＝言葉が置かれる文脈）をしっかりと意識し、なるべく多くの人に配慮して文章を書く必要がある

参考文献

- Ch.W.モリスによる記号論の三領域、「統辞論」「意味論」「語用論」
- 「論理的」とは、これら三つの領域で言葉が「整合的」に使われる状態と考えられる。

Ch.W.モリス『記号理論の基礎』

上達のコツ

- ・ 論理的な文章を大量に読む・視写をする（インプット）
- ・ 色々なことに疑問を持ち、論理的に考える癖をつける（アレンジメント）
- ・ 自分の考えを文章にして、他人に見てもらい感想をもらう（アウトプット）

分からない
というのは

気づきの不足

前提の
知識の不足

理解力の不足
のどれか

だから何?
so what?



情報に気付
けなかった



したがって
それゆえに
まとめると
要するに

問題文を読
むとき必要
な情報を見
つけ出せな
かった

整合性の類語

- ・一貫性（いっかんせい）
- ・辻褄（つじつま）が合う

Career Picks

- 科学論文では、著者は見出した研究課題や主題に対して、明確な主張を示します。そして、その主張が正しいことを読み手に納得してもらうために、実験や観察で得られた事実や理論を証拠として、論理的な探求や推論を行って主張を支えます。

- 論文のクリティカル・リーディングでは、個々の文章の著者の主張や、その論理的な探求や推論の方法が正しいかを吟味しながら読むことが求められます。

- 論理的な整合性を見極められずに内容を誤解したまま読むと、あなたの研究が誤った方向に進んでしまうことがあります。吟味しながら読むことで、明示されていない著者の考えやその研究が内包する問題点に気づき、そこからあなたの新しい研究が生まれることもあるのです。

クリティカル・シンキングとは何か

- クリティカル・シンキングは「批判的思考」と訳されることがあります。日本語の「批判的」という言葉は、他人の主張の不備や欠点を探して非難するといったネガティブな意味で使われることもあります。英語の「critical」の本来の意味は、もっと肯定的で建設的な意味合いを含んでいます。
- 「critical」を「**何らかの基準に照らして注意深く、疑ってみること**」の意味で用いることとして、**クリティカル・シンキングを「他人の主張を鵜呑みにすることなく、吟味し評価する方法論」と定義します。**

論証の基本的な形式

- 科学論文に用いられる論証の基本的な形式を理解して、科学論文を正しく効率よく読めるようになること

演繹的論証と帰納的論証

例文 1

A湖ではメスの魚だけが養殖されている。 (根拠①)

この魚は、A湖で捕獲された。 (根拠②)

だから、この魚はメスである。 (主張)

根拠①②の2つの前提からどんな主張が導き出せるでしょうか。

- 「A湖の魚(A)はすべてメスだ(B)」、「この魚(C)はA湖の魚だ(A)」という2つの前提となる根拠が正しいなら、つまり、「 $A=B$ 」、「 $C=A$ 」なら、「 $C=B$ 」、つまり「この魚(C)はメスだ(B)」という主張、も正しいことになります。このように**前提となる根拠を正しいと認める**と、そこから**導き出される結論が必ず正しくなる**ような論証を**演繹的論証**といいます。

過去 現在 未来の 時制を制限せず、もはや時間空間によらず、常態としての正しさが認められていることを根拠に置く

- ・ 導き出される結論が必ず正しくなるような論証＝演繹的論証

演繹的論証と帰納的論証

例文 2

A湖でこれまでに捕獲された魚は全てメスであった。（根拠①）

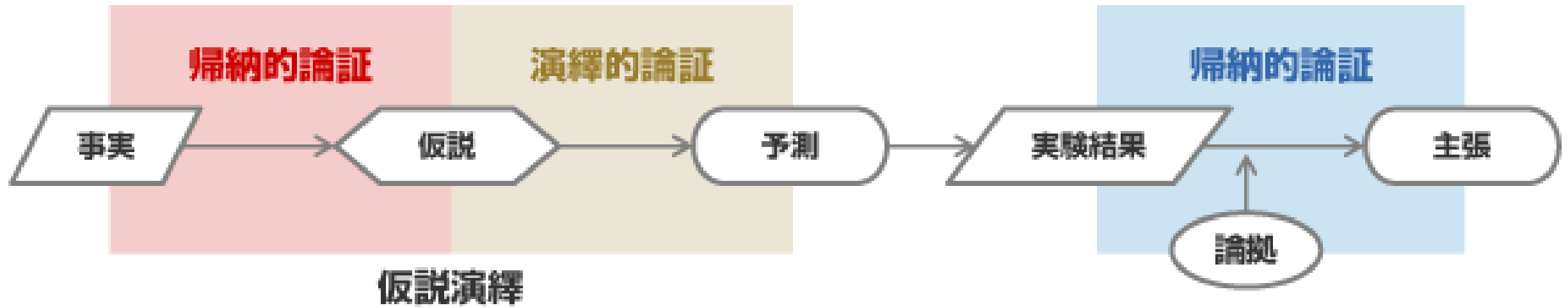
この魚は、A湖で捕獲された。（根拠②）

だから、この魚はメスに違いない。（主張）

- 一方、例文 2 を見てください。ここでは、前提となる根拠①の部分が「A湖でこれまでに捕獲された魚は」と限定されています。つまり、この根拠は例文 1 と違って、「これまでに捕獲された」という体験が基になっています。そのため、次に釣る A 湖の魚については、メスかどうか、何ら確実なことはいえず、オスである可能性もあります。このように前提となる根拠の中に必ずしも含まれていないことを主張として導き出すような論証を帰納的論証といいます。

過去の経験による確からしさのみ、認められていることを主張するが、根拠が含まれていない場合でも、確実ではなくても、それに近いということから論証する。

- ・ 前提となる根拠の中に必ずしも含まれていないことを主張として導き出すような論証
= 帰納的論証



仮説演繹で主張を生み出すプロセスの図

仮説演繹

- 演繹的論証、帰納的論証のほかにも論証の形があります。ここでは、実際の科学論文でよく使われる論証の形として仮説演繹を説明します。
- 仮説演繹とは、既知の事実に基づいて新たな仮説を立てて、その仮説から演繹して予測し、それを主張として論証し、実験や観察をして確かめるという方法です。

- 例文 7
- ヒマラヤ山系にあるムクチナート（標高3750m付近の街）で海洋生物のアンモナイトの化石が見つかった。（根拠）
- ヒマラヤ山系はかつて海だった。（根拠となる仮説）
- たぶん、この仮説は正しい。（主張）

- 「ヒマラヤ山系にあるムクチナートで海洋生物のアンモナイトの化石が見つかった」と、事実を示す文があります。しかし、この事実からだけでは、海に生息するアンモナイトがヒマラヤ山系で見つかる理由が主張できません。しかし、ヒマラヤ山系がかつて海だったと新たな仮説を立てれば、矛盾せずに論証して主張することができます。

- 例文 8

- もし、ヒマラヤ山系はかつて海だったという仮説が正しいならば、ヒマラヤ山系で海に生息するアンモナイトの化石が見つかるはずだ。実際に調査すると、ヒマラヤ山系のムクチナートほかで海に生息するアンモナイトなどが見つかることがある。だから、この仮説は正しいだろう。

- このように、仮説演繹では、新しい主張が引き出せ、かつ正しさが保たれるような仮説を用いて、ダイナミックな主張が導かれます。仮説を立て予測し、それを実験や観察で検証して、仮説の信頼性を高めていくのです。こうしたプロセスが真理を探ろうとする科学の営みを強力に後押しするのは間違いないでしょう。

アブダクションやアナロジーという論証の形

- このほかにも、広い意味での帰納的論証には、アブダクションやアナロジーという論証の形もあります。アブダクションとは、「Aは正しいと分かっている。仮説HはAとなる理由をうまく説明できる。H以上に適切な仮説は存在しない。だから、Hは正しいに違いない。」という論証の形です。アナロジーとは、「AとBは重要な点が似ている。BについてはCとなることが分かっている。だからAについてもCとなるに違いない。」という論証の形です。これらも推論によく用いられる論証の形です。
- あなたが論文を読む際には、取り出した文章の中で、**どの論証の形がどのように用いられて、主張が導き出されているのかに注意すると、クリティカルに読むべきポイントが明確になります。**

1パラグラフ構造

- 科学論文のような論理的な文章が本来持っているはずの文章構造、「パラグラフ構造」について説明します。

パラグラフ構造 で書くときの基 本ルール

- 論文のような論理的な文章は、パラグラフ構造で書くことが望ましいとされています。このコースの目的は論文の読み方を身につけることですが、パラグラフ構造を理解するために、まず初めにパラグラフ構造で書くときの基本ルール

■ パラグラフ ■

1つの主張(結論)を導くために
用いられる、論理的に相互に
関連のある複数の文の集まり

- ここでいうパラグラフとは、「1つの主張（結論）を導くために用いられる、論理的に相互に関連のある複数の文の集まり」のことです。それは、**論証を表現するときの基本単位です。**

- 1つのパラグラフには、原則として、1つの主張（結論）とそれを支える根拠だけを書きます。そして、1つのパラグラフは、そのパラグラフの主張を要約した**TS（トピックセンテンス Topic Sentence）**、TSを支える根拠をまとめたSS（サポーティングセンテンス Supporting Sentence）

- TSを結論として別の表現で書き直したCS
(**コンクルーディングセンテンス**

Concluding Sentence) で構成します。図のように、TSとCSでSSをはさむように並べます。根拠が複数ある場合は、SSも複数になります。また、SSの数が少なく、パラグラフが短くなる場合には、CSが省かれることもあります。

- **パラグラフ構造**

- TS（トピックセンテンス Topic Sentence）＝主張SS1（サポーティングセンテンス Supporting Sentence）＝根拠①
SS2（サポーティングセンテンス Supporting Sentence）＝根拠②CS（コンクルーディングセンテンス Concluding Sentence）＝結論（主張）

- 次の例文 1 では、①がTS、②③がSS、④がCSとなります。

- 例文 1

- ①動物の体細胞クローン技術は、臓器移植の安全性に問題がある。②クローン豚には、早死するものが多い、免疫機能が劣っているものがあるなど、問題事例が数多く報告されている。③また、クローン豚から人間への臓器移植では、人間に移植される豚の臓器に潜むウィルスを検出できない可能性も指摘されている。④クローン豚からの臓器移植は、その安全性を十分に検証してから実施する必要がある。

- ③は根拠として①を支えています。が、「豚が感染する全てのウィルスが既知ではないはずだ」や「豚にとって無害であって人間にとって有害なウィルスが存在するかもしれない」といった明示されていない前提や仮定が、論拠として隠れていることも推定できます。そこで、その論拠も書き足してパラグラフ構造が分かりやすいように整理してみると、例文2のようになります。

- 例文 2
- TS:動物の体細胞クローン技術は、臓器移植の安全性に問題がある。（主張）
- SS1:クローン豚には、早死するものが多い、免疫機能が劣っているものがあるなど、問題事例が数多く報告されている。（根拠①）
- SS2:クローン豚から人間への臓器移植では、人間に移植される豚の臓器に潜むウィルスを検出できない可能性も指摘されている。（根拠②）
- 豚が感染する全てのウィルスが既知ではないはずだ。（根拠②の論拠W1）
- 豚にとって無害であっても人間にとって有害なウィルスが存在するかもしれない。（根拠②の論拠W2）
- CS:クローン豚からの臓器移植は、その安全性を十分に検証してから実施する必要がある。（結論（主張））

- パラグラフのどこに論拠を書くかについては、決まりはありません。この例文では、根拠②のすぐ次に書き足しましたが、結論のあとに、「なぜなら～からだ」と書くこともあります。

- 例文 4
- TS:遺伝子組み換え食品にはいくつかのリスクがあることを忘れることはできません。
- (主張)
- SS:いくつかの遺伝子組み換え植物が、実際には新しい生産物を生み出せなかったことを示す研究もあります。(根拠)
- 例えば、耐霜性遺伝子組み換え植物は、うまく結実しなかったことが報告されています。(根拠の具体的な事例)
- CS:遺伝子組み換え食品が現状の科学技術の生産物であり、多くの改良の余地がある不完全なものであることを忘れるべきではありません。(結論 (主張))

- このように、パラグラフ構造で書かれた文章は、TSに主張が要約されているので、読むときに論証の構造が把握しやすいのです。

理学療法の基本理論

Vos ら によると、運動器の疾患と機能障害は、
障害調整生命年数（Disability-adjusted life years : DALYs）の
上位を占めると報告し、

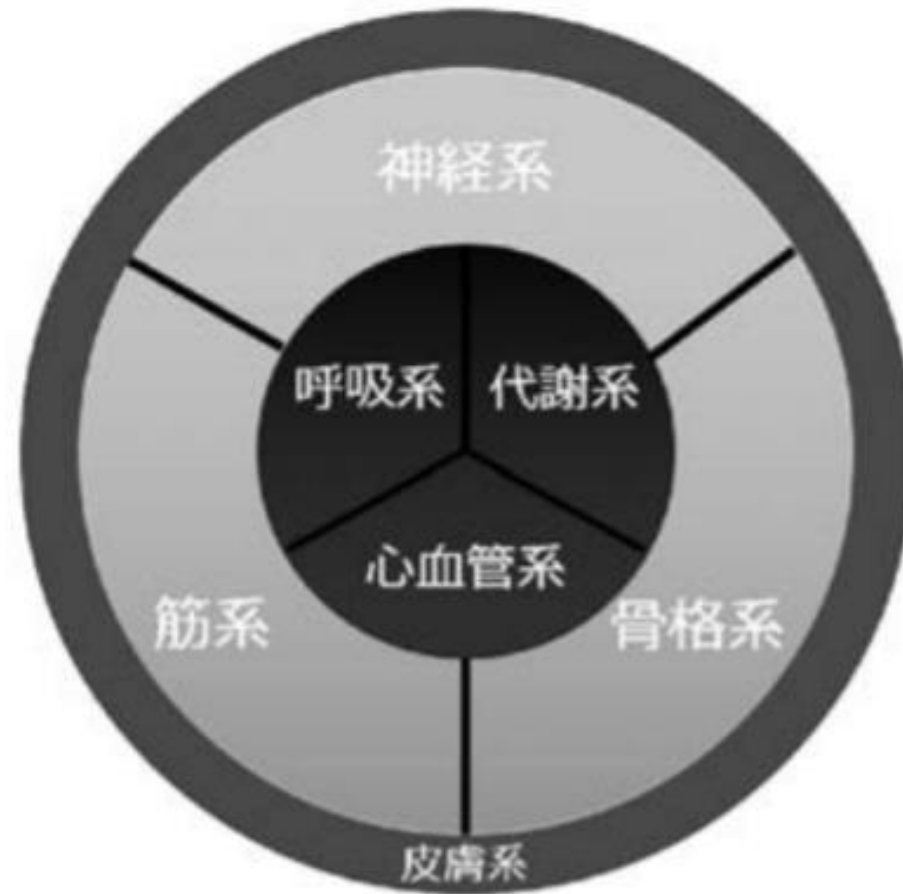
能力障害（Disability）の原因として 2010 年では 1990 年より
45%増加している。

これらの運動器の疾患、障害をもつ者に対して運動器の理学療法
士は重要な役割を持つ。

The movement system(運動系)

- The movement system（運動系）が理学療法士の専門性そのものである。
- 運動系を臨床における理学療法の実践、理学療法士の養成における教育、理学療法に関連する研究の中核とし、社会貢献を実現すること

**理学療法はこの運動系を理解すると共に運動系の“診断”、管理、治療を行う。
(注：狭義の運動器疾患の理学療法という単純な疾患別の理学療法ということと区別しなければならない)**



運動系 (<https://pt.wusm.wustl.edu/AboutUs/Pages/HumanMovementSystem.aspx> より)

運動系は生理的体系の一つであり，上記の体系が相互作用することで身体とその部位に運動をもたらす

運動系の“診断”

- 運動系の“診断”とは**運動と 症状、病理学的変化を生じる組織との関係を明らかにすること**を指す。その“診断”には、**運動に焦点を当てた系統的な評価**により、**運動がどのように運動系により作られ、その他の体系に影響するか**を正しく理解すること

- この“診 断”に基づき、症状の原因となる特定の運動方向を 判断することにより介入の指針を示すこと

- この運動と病理学的変化の関係は 2 つのモデルによって大別され説明される

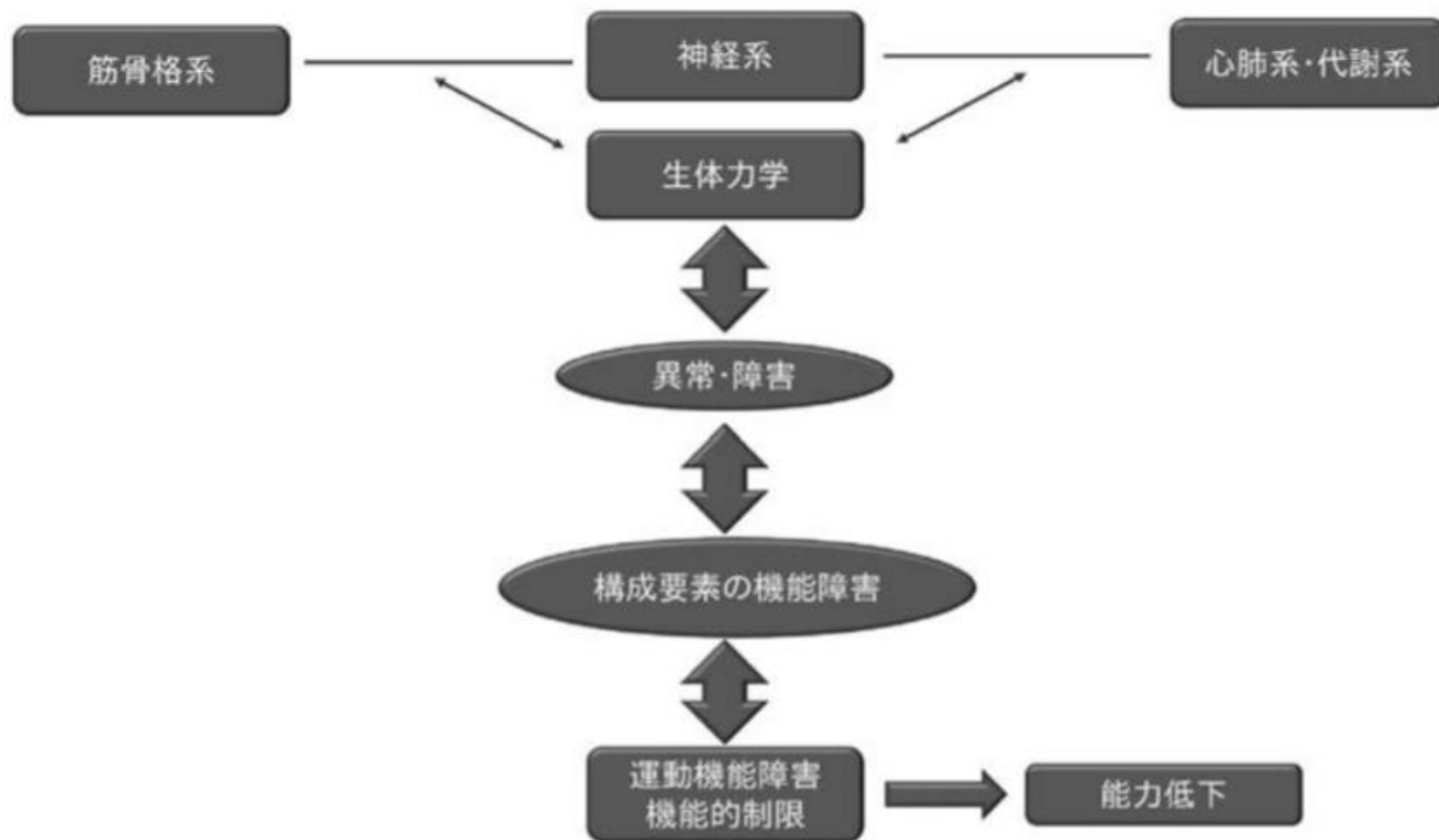
組織の変化→運動の変化：病理運動学モデル

組織の病理学的 変化

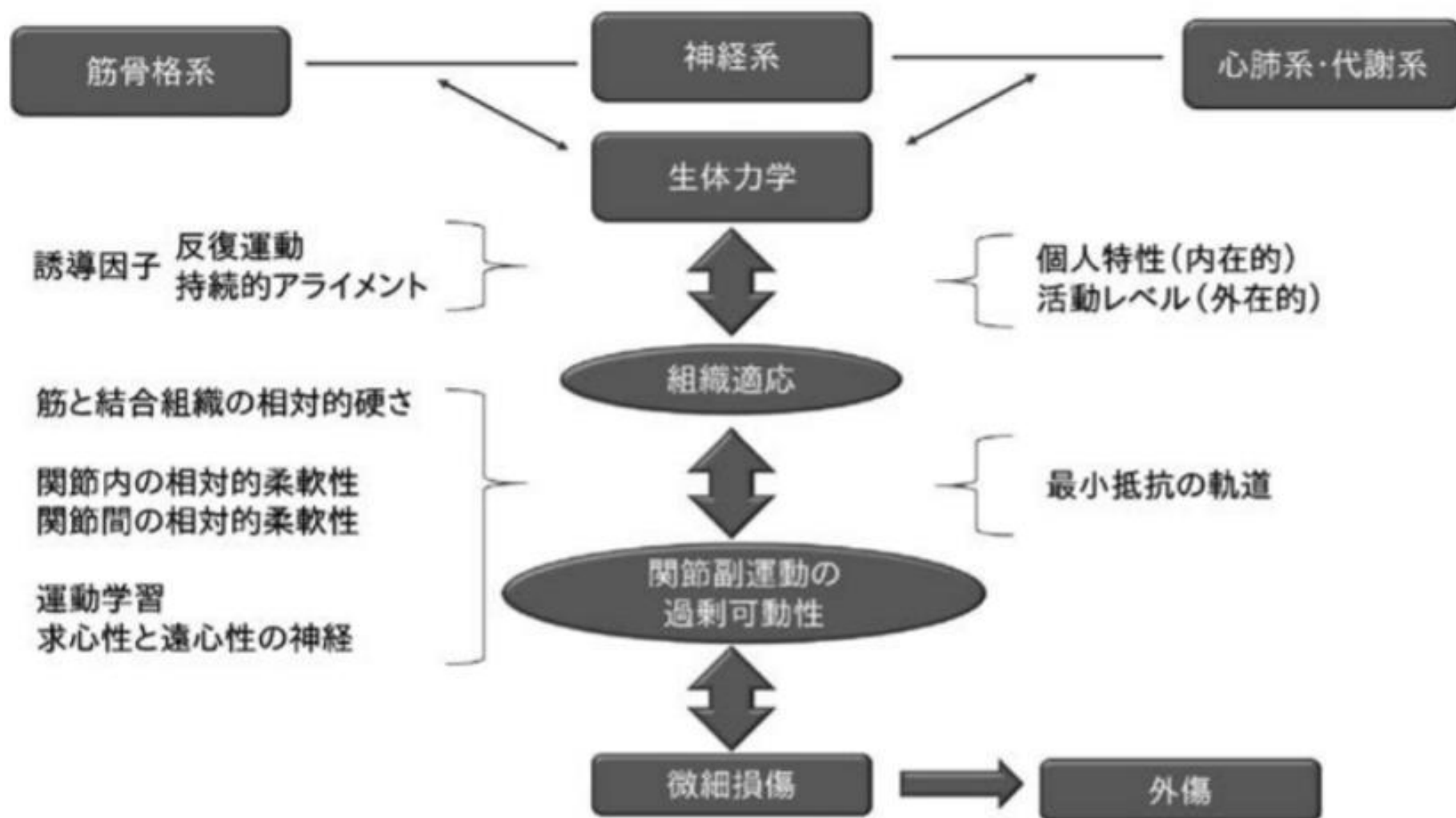
組織の病理学的 変化を要因とし、結果的に運動に変化が生じるとする
病理運動学モデル

運動の機能障害→病理学的変化： 運動病理学モデル

運動の機能障害を要因とし、結果的に組織の病理学的変化が生じるとする
運動病理学モデル



病理運動学モデル (Shirley A Sahrmann, 文献 8 より)



運動病理学モデル (Shirley A Sahrmann, 文献7より)

- 両モデルにおいても運動系の“診断”により、その後の介入の方向を示すことが可能となる。

そして、**医学的診断とは異なるラベル付けによって蓄積される介入の結果の蓄積こそが理学療法の治療効果を明らかにし、我々の専門性を明確にする一助となる**

- 日本における理学療法の発展に関してはリハビリテーション医学との関係、理学療法が担ってきた役割を知ることが重要である。リハビリテーション医学には Frank H. Krusen 氏を源流とする物理医学（Physical Medicine）、Howard A. Rusk 氏を源流とするリハビリテーション医療（Rehabilitation）の 2 つの概念が存在している。

- リハビリテーション医学は、物理医学（Physical Medicine）とリハビリテーション（Rehabilitation）という一見まったく異なるようにみえる 2 つの医学の分野が統合されたものである。

- リハビリテーション医学の第一の部門である物理医学は、古来より医療の中で用いられてきた運動療法、電気刺激、温熱、光線療法、装具療法などを用いて、主として運動・認知機能に障害をもつ患者の治療や運動電気生理学的手法により、病態の検索、診断を行うものである。
- 一方、第二の分野であるリハビリテーションは患者を身体的、心理的、社会・職業的に最大のレベルまで到達させることである。

- 従来日本の理学療法士に求められてきた役割として、疾患・疾病を有する患者に対してリハビリテーション医学を提供することであった。
- つまり国際障害分類（ICIDH）の概念を基本にした物理医学の提供である。しかし 2001 年、国際保健会議（WHO 総会）において国際生活機能分類（ICF）が採択されたことを契機とし、ICF の概念を基本にしたリハビリテーションの提供が重要視されてきた。

- それと同時 に理学療法士養成校においてもリハビリテーションを行うための教育が多くなされるなど、リハビリテーション医学における理学療法士の役割に変化が生じ、そのニーズに答えるべく変化と遂げてきたといえる。
- 現在、**慢性疼痛を始めとする特定の病理、構造障害の関係が少ない症状を有する対象者に理学療法の提供が求められる**といった、国際疾病分類 第 10 版（ICD-10）が定める体性機能障害（Somatic dysfunction）を対象とした理学療法に対するニーズが高まってきている。

- しかし、理学療法士養成校において主に教育されてきた医学的診断に基づく物理医療、リハビリテーションを行うための知識、技術では十分な対応が困難である可能性が危惧される。そのため、体性機能障害に対する理学療法の提供のための新しい概念を取り入れることが急務

体性機能障害に対する理学療法

- 運動系とは 運動系とは Shirley A. Sahrmann 氏が提唱した概念であり、代謝系、心血管系、呼吸系を取り巻く筋系、骨格系、神経系が皮膚系に包含された中で作用する運動を生成する生理的な体系の一つであり、運動系の下位系が相互作用をもたらすことで身体とその部位に運動をもたらすと定義されている。
- また、筋骨格系の疼痛が単発の出来事によって引き起こされることはほとんどなく、その運動系がおりなす運動の障害が病態を引き起こす可能性があり、運動の障害は単なる病態の結果ではなく、習慣的な動作や姿勢の保持が運動機能障害の大きな原因となる運動病理学的モデルの基礎となっている。

- 運動病理学的 モデルとは過剰（excessive）、不正確（imprecise）、不十分（insufficient）な運動が病態の発達に関与するとされるモデルであり、疾患、病理が存在することが結果的に運動を変化させるとされる伝統的に考えられてきた病理運動学モデルとは、要因と結果の解釈が異なるモデルである。

- 病理運動学的モデルにおける筋骨格系問題に関するアプローチは、疼痛の発生源と考えられる組織や病理解剖学的構造体を突き止めて治療することであった。
- しかし、筋骨格系の疼痛が生じる場合、**有痛性の組織は徐々に運動機能障害を生じ運動の正確さに変化を起こすため、微小外傷に曝される。**
- そして、その**繰り返しや長期の時間経過の最終的な結果として可視的外傷へと変化すると**されている。
- つまり、**退行性の変化を伴う進行性**の状態であり、**生活習慣等が大きく影響する。**体性機能障害に対する理学療法では、疼痛の発生源となる組織や構造体の特定は基にし、**疼痛の原因となる運動機能障害を突き止めアプローチすることが求められる。**

実は、これは産業保健分野での産業理学療法で扱うヒューマンファクターの理論と同じ

この運動機能障害を判断するために必要な概念として、

- 最小抵抗の軌道の法則、
- 相対的柔軟性、
- 相対 的硬さ、
- 瞬間回転軸中心（path of instantaneous center of rotation : PICR）

が挙げられる。

- これらは、運動学の原則に則った概念である。
- 人の活動は、**連続的に配列された多関節の運動を必要とし、配列された関節は各々が異なった柔軟性、硬さを有する。**
- つまり、相対的な関係として**隣接関節に付着する組織の柔軟性、硬さが運動に影響する。**
- そのため、その**配列された関節の最も柔軟性の高い関節が、相対的に最も抵抗が小さくなる。**
- その結果、**最も抵抗の小さい部位は最小のエネルギーによって最も容易に、最も短い運動を生じさせうるという最小抵抗の軌道の法則により、相対的な柔軟性を有する関節では運動において特定方向への動きやすさ（directional susceptibility to movement : DSM）という傾向を増加させる。**

DSM は運動パターンの変容に寄与し、

- 生理的運動、
- 関節副運動の過可動性を導くとされ、

変化した関節副運動が PICR の障害に関係する。

PICR は①関節面の形状、②靱帯によるコントロール、③筋の協調運動による偶力といった解剖学的、運動学的要素により決定される。

- これらの 解剖学、運動学的原則に則った概念に基づいて運動機能障害を系統的に評価し、
- “診断”、治療展開を行うことが体性機能障害に対する理学療法の一つの方向性を示している。

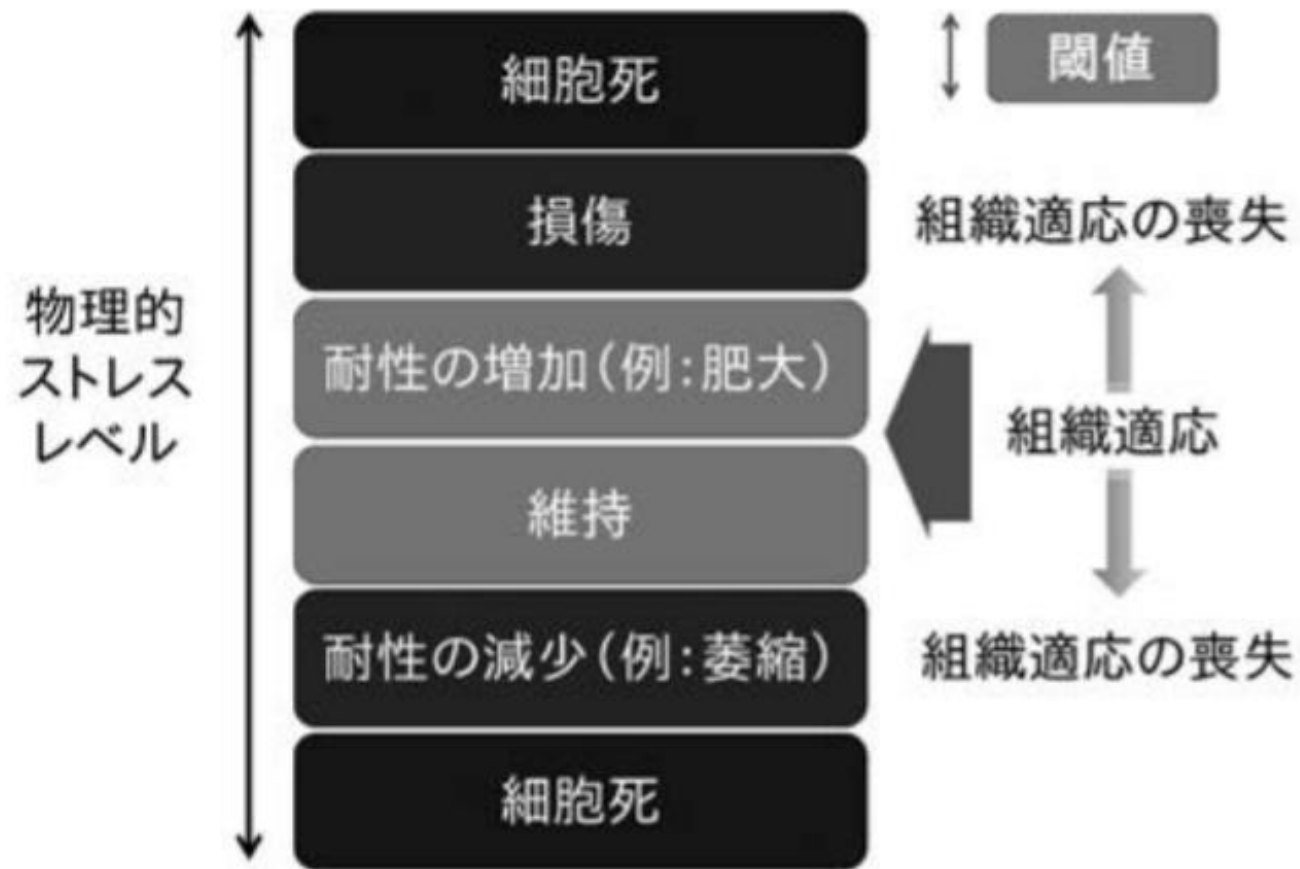
治療の基本概念

急性期の課題

- 筋骨格系障害の急性状態は**時間によって改善**し、対処療法によって症状は軽減することは知られているが、同時に**再発が頻発**することもよく知られている。
- その要因の一つとして考えられるのが、**筋骨格系障害に対する思考のフレームワークを病理運動学モデルで構築してきた理学療法にある。**
- つまり、**病理解剖学的構造体**がその**症状の原因**とし、その**機能回復を目的**として行われてきた**従来の方法**である。

- しかし、再発を最小限にするには機能障害がある運動と、それに関与する因子を確認し、症状の源となっている組織をマネジメントする必要がある。
- そして、原因となっている機能障害のある運動に対して、個別的、特異的なエクササイズを処方すること。その運動が関与する基本的な日常活動、仕事、レクリエーション、スポーツの修正の指導を行う治療プログラムを展開する必要がある。その治療プログラムの展開を行うに際して、組織のマネジメントのための適切なメカニカルストレスが、適切な時期に応じて加わっているかを考慮する必要がある。

- これは、Mueller と Maluf らによって定義された物理的ストレス理論に基づく病期分類によって決定される。



物理ストレス理論における組織適応
(Mueller MJ, et al. 文献9より)

物理的ストレス理論に基づく病期分類

- 物理的ストレスは、生物組織の特定領域に加えられる力として生体力学的に定義される。
- この定義はすべての機械的システム（人体を含む）に適応し、生物組織（筋、骨、靱帯）は、予測可能な様式で物理的ストレスに対して反応する。その反応は物理的ストレスと組織の状態に応じて正の反応（筋肥大等）、負の反応（筋萎縮等）を示す可能性があるというもの。

- つまり、一定以上のストレスが加えられたときに、生物組織が適応し、 ストレスに対してより耐性をもつことができる。
- しかし、生物組織には**適応の閾値が存在**し、それを**上回っても、下回っても負の反応が引き起こされる**。
- また、物理的ストレスレベルは**ストレスの量、時間、方向**の影響を受け、量とは組織に対する単位面積あたりのストレス、時間とはストレスの時間的長さ、反復回数、強度、方向とは引っ張り、圧縮、剪断力、捻じれと組織の特性に応じて**脆弱な方向が存在する**ことにより定義される。

そうした特徴から**メカニカルストレスによる組織損傷**は 3 つのタイプに 分類される。

- 高い量の物理的ストレスを短時間に（**転倒などの外傷**）、
- 中等度の量の物理的ストレスが中 程度の期間に（**最適ではない運動パターンの繰り返し**）、
- そして低い量の物理的ストレスが長期間に（**持続的な姿勢アライメント異常**）の 3 タイプである。

- どのタイプにおいても**傷害された生物組織は適応するストレス量の閾値の低下が生じ、保護が必要**となる、
- **組織の治癒が進むにつれてその閾値の増加がみられ様々なストレスに適応することが可能となる。**
- 最終的には傷害された生物組織に物理ストレスを負荷することにより、**完全な適応とストレス耐性の向上が求められ、その達成により再損傷の可能性は減少する。**
- つまり、**連続した時間のなかで、物理的ストレス理論に基づいて最適なメカニカルストレスが加えられているかの判断を行う必要があります、運動によって生じる物理的ストレスの量が適切であるのかを判断することが理学療法士に求められる。**

理学療法診断とは

- 物理的ストレス理論に基づく病期分類を行うことと、運動によって生じる物理的ストレスの量が適切であるのかを判断すること（Sahrmannによる理学療法診断の理論）
- 連続した時間のなかで、物理的ストレス理論に基づいて最適なメカニカルストレスが加えられているかの判断を行う
- 必要があり、運動によって生じる物理的ストレスの量が適切であるのかを判断することが理学療法士

ざっくり言えば

- 目の前の患者さんの症状は、**いつから**不良な運動を行って生じていたかを容疑者として、犯人を特定し、**（時間こそが診断の道具）**
- その犯行の内容を再現して、裏を取り（**これが根拠**）、
- その裏によって、今後改善させるとき、瞬間的な治療にとどまらず、運動の仕方に関する生活習慣のマネジメントの内容を決定すること（**再犯予防**）

- Sahrman らは、その課程を病期分類として 3 つのステージに分類しており（表 1）、
- そのステージは傷害を受けた生物組織に必要とされる保護の量、または治療中の組織に加えることができる物理的ストレスの量に関して説明している。

表1 病期分類 (Shirley A Sahrman, 文献7より)

変数	ステージ1	ステージ2	ステージ3
時間	最近	—	ずっと以前
症状	重症度↑ 被刺激性↑	—	重症度↓ 被刺激性↓
帰結スコア	低レベル機能 能力低下↑	中レベル機能	高レベル機能 能力低下↓
機能的運動	機能的分節使用↓	使用されるが 最適ではない	機能的分節使用↑

運動の修正

- 病期分類のステージとして、適切な物理的ストレスを加えることが求められる時期に達した際に、
- DSM を考慮した運動の修正を行い傷害された生物組織に適切なストレスが加わるように導くことが求められる。
- しかし、正常な運動、もしくは理想的な運動を定義することは困難であり、**唯一の正しい運動** というものは存在しない。

- 関節にかかるストレス や運動が多様であれば、それを補助している組織も望ましい状態を保ち、健全でありうる。
- しかし、同じ運動、同じ姿勢を反復的に続けることによって、関節にかかるストレスは単一化され組織の健全さを維持することは困難となる。
- **理学療法の Goal は症状の原因となっている過剰、不正確、不十分な運動 を呈する不全で問題を起こしているパターンを修正し、その運動において様々な選択の余地と制御の方法を与え、運動に多様性と冗長性を再獲得させることである。**

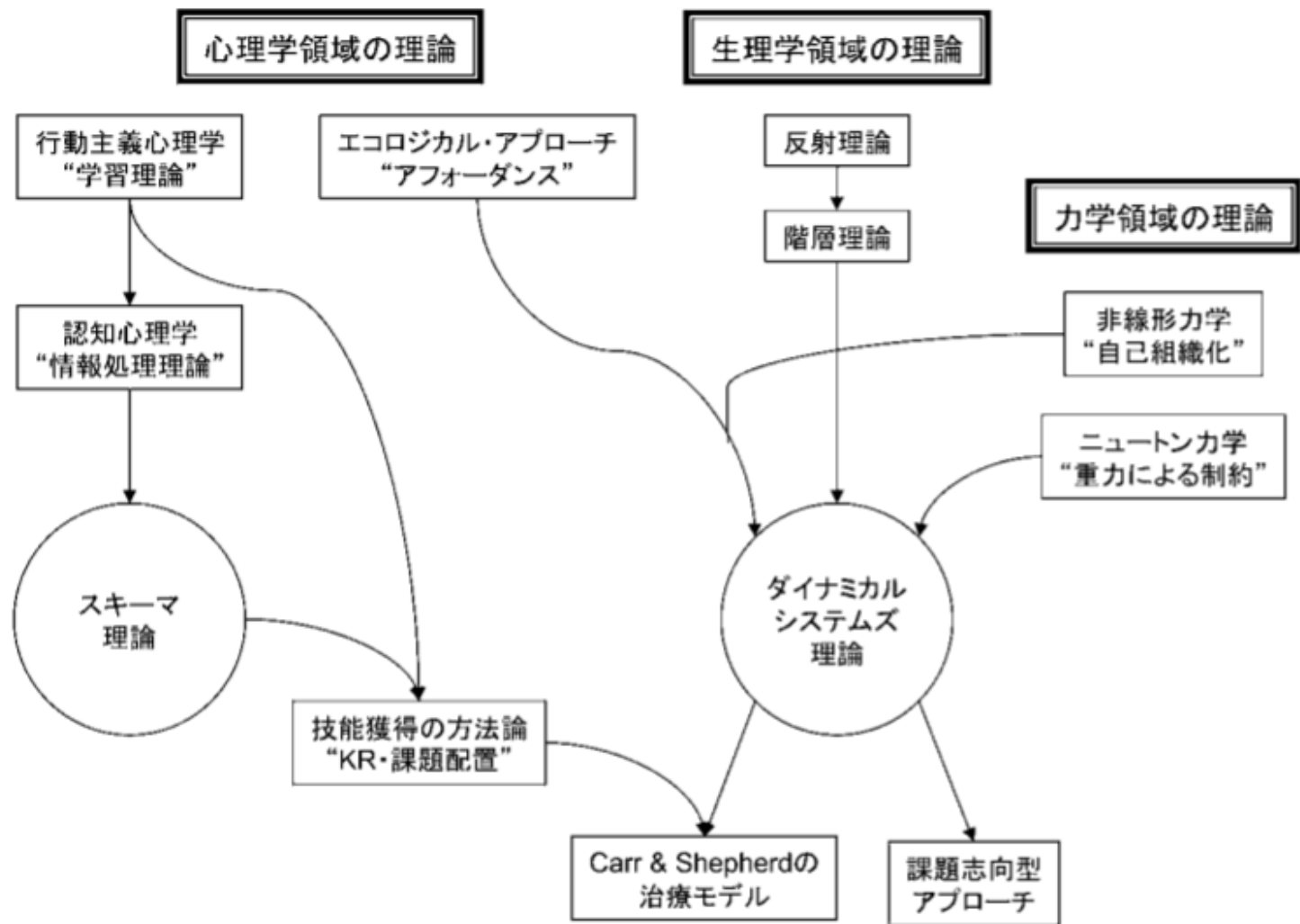
理学療法の実施において

- しかし、近年では**生物医学的視点のみに基づく 理学療法のマネジメントは患者が経験する痛みや機能不全の複雑さに関連しないと主張され、生物心理 社会モデルを用いることが推奨されている。**
- **優れた臨床家は一つの特定の実践戦略を支持するのではなく、複数の視点を取り入れ、個々の症例に応じていくつかの推論戦略を組み込むことが知られている。例えば、理学療法士は運動系をその専門性の 中核としながらも、複数の思考のフレームワークにより互いを補完し、wise decisions を下す社会的、 認知的、および対話のプロセスであるクリニカル リーズニングを通し、対象者の問題解決を図るべきである。**

運動時の痛みが 骨関節・筋だけに原因があるわけではなく、心臓病では左肩甲骨に激しい痛みを生じるさせる。

生活習慣の中での運動の修正
（動き方の修正）に関する理
論には何があるか？

運動学習理論

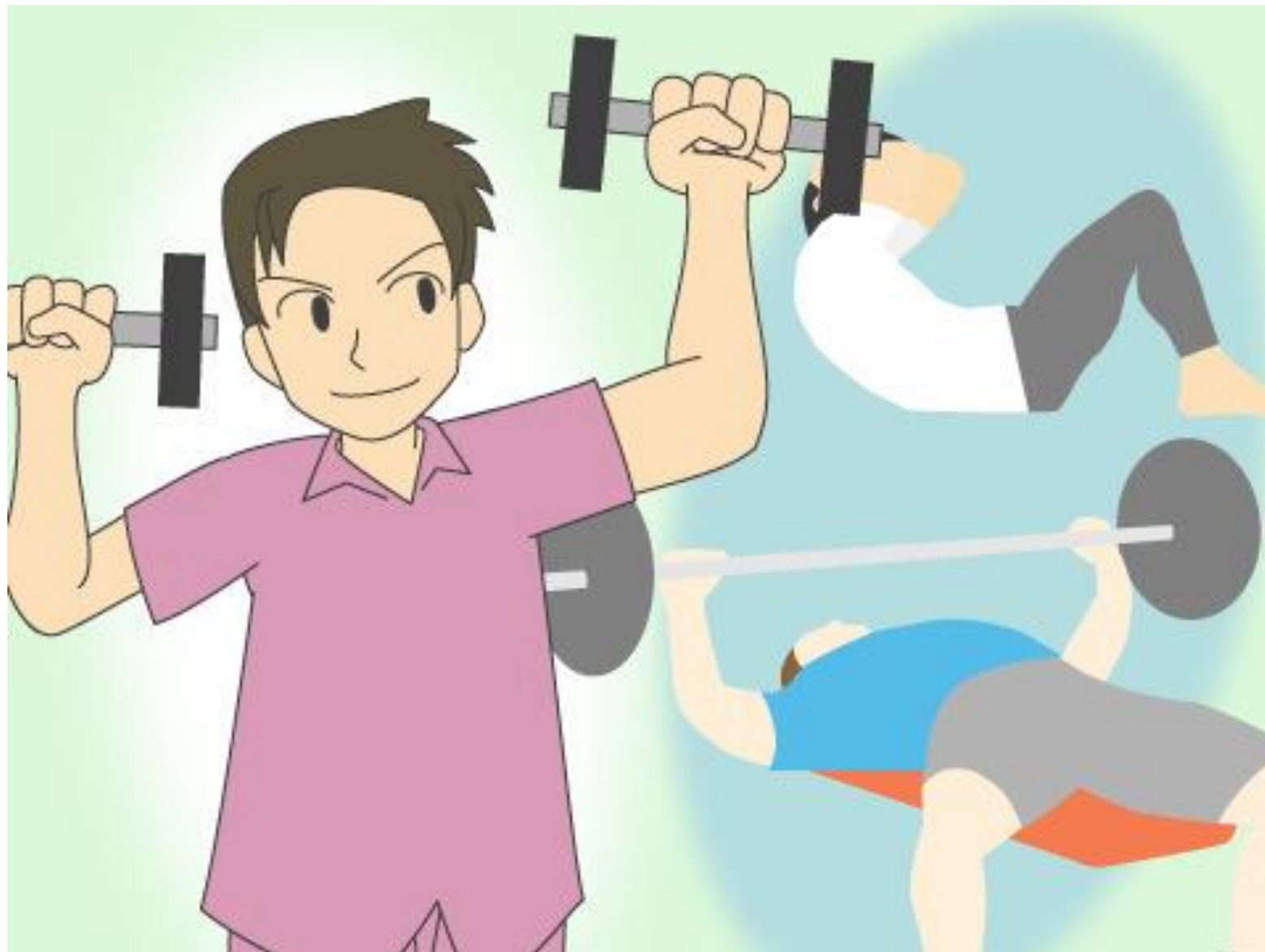


- 情報処理理論と技能獲得の方法論
- スキーマ理論：動作の制御は脳、一般化された動作プログラムが必要（GMP）動作の相対的タイミン
グと相対的強度のみ、
- 並々と注がれた水コップを持たすだけで、この理論は制限される。
- ダイナミカル・システムズ理論
- アフォーダンス理論：動作の要請は環境の持つ意味
- Bernsteinの自由度問題

運動の修正（動き方の修正）
に関する、

力源の改善に

関する理論には何があるか？



筋力増強の理論

Theory of Muscle Strengthening

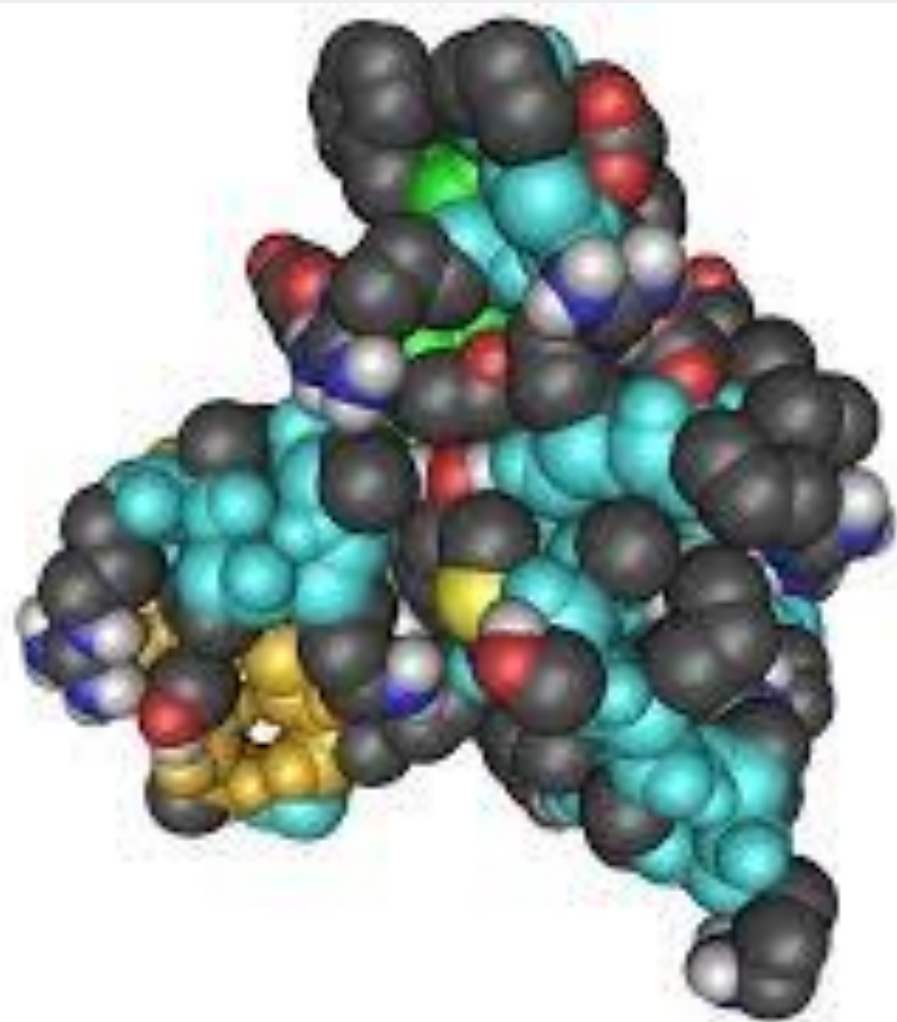
- 筋肥大のメカニズム
- 筋線維数の増加は胎生期までにほぼ終了する
- 筋力増強訓練で生じる筋肥大は筋線維の断面積が増大したものである。
- 筋線維の断面 積増加は、それを構成する筋タンパクの合成が分解を上回った結果生じる。

IGF- 1 が関与してることが分かった

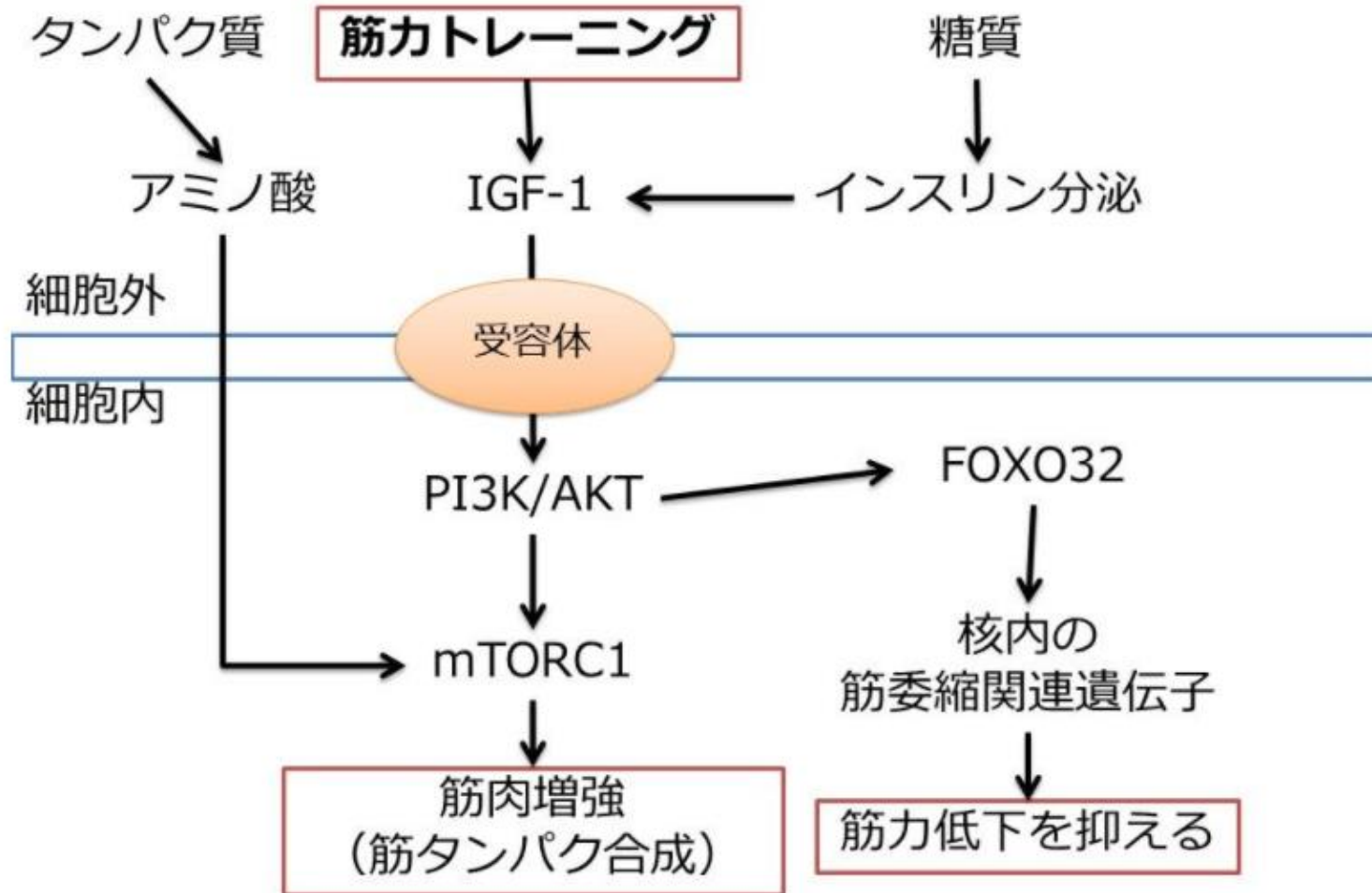
- 筋タンパク合成の制御 には主にインスリン様増殖因子 1 (IGF- 1) が重要な働きをしていることが知られている.

血液中のIGF- 1 が筋細胞膜の表面にあるレセプターに結合することにより, 細胞内のシグナル分子が活性化されタンパク合成が促進される.

筋力増強 訓練によってもたらされる機械的ストレスは筋細胞膜上のメカノセンサーを活性化し, 細胞膜の Ca チャンネルを変化させる. 流入した Ca イオンは細胞内の Ca 依存性シグナル伝達を活発にして筋タンパク合成を促進する.



筋力増強のメカニズム



- 運動すると、筋肉が働くのでそこで何種類かの「成長因子」と呼ばれる物質を分泌するのです（成長ホルモンと言われているもの）。
- 例えば、激しいトレーニングなどの運動によって、ミオスタチンという成長因子の生成・分泌が低下し、IGF-I（インスリン様成長因子-I）の生成が増加します。
- また、血管を新生するはたらきをもつVEGFという成長因子の生成も増えることがわかりました。
- ミオスタチン = 筋の成長・肥大を抑制
IGF-I = 筋の成長・肥大を促進
- これらの物質は、運動やトレーニングに適応して筋が肥大するという仕組みを担っているものと考えられます。

筋肉も内臓と同じ内分泌器官！？

- 内分泌器官とは、ホルモンを分泌する器官です。
- ホルモンは、全身を循環し、他器官のはたらきを微量で調節する物質をいいます。
- 上に挙げた成長因子は、微量でさまざまな細胞の機能を調節する物質ですので、ホルモンにもなりえます。
- しかし、筋が分泌した成長因子が、筋以外の器官に作用を及ぼさなければ、「筋が内分泌器官である」とはいえません。
- 脂肪は内分泌器官なのです！
- 脂肪組織が分泌するレプチンは、中枢神経にはたらいて食欲を抑えたり、行動活性を高めたりしますので、脂肪組織は立派な内分泌器官といえます。

最初の「ミオカイン」：IL-6

筋運動後に、インターロイキン-6（IL-6）という物質の血中濃度が上昇します。

- インターロイキンとは、「白血球の間で情報伝達をするタンパク質」という意味で、炎症、浮腫などの一連の免疫反応が起こるときに白血球から分泌される「サイトカイン（炎症性サイトカイン）」の一種です。
- 筋運動後に増加するIL-6も、筋の微小損傷に伴って起こる免疫反応によるものと考えられてきました。

- トレーニングなどの運動により筋肉が使われると筋損傷とは無関係に筋線維そのものからIL-6が分泌される。こうして増加した血中IL-6が、血管壁に対して炎症を起こしにくくする作用（抗炎症作用）をもち、動脈硬化を予防する効果がある（と考えられている）。

- このことは、筋が内分泌器官でもあることの証明になる。また、脂肪から分泌されるレプチン、レジスチンなどのサイトカイン（代謝物質）が「アディポカイン」と呼ばれ、筋から分泌されるサイトカインを「ミオカイン」と呼ばれている。

- 炎症反応の進行に伴い、インターロイキンはIL-1からIL-10まで、番号順に作られていきます。
- IL-6は、炎症中期に現れることから、炎症反応の収束にかかわると考えられます。

- また、IL-6は、
 - 1、肝臓にはたらいてグリコーゲン分解を促進する
 - 2、脂肪細胞にはたらいて脂肪分解を促進する
 - 3、脳にはたらいて「疲労感」を引き起こしたり、神経細胞のアポトーシス（細胞の脱落死）を防いだりする
- これらについては、完全に解明できているわけではありませんが、筋から分泌されるIL-6が脂肪分解を促進するとなれば、当然よく動かした筋の近くにある脂肪は落ちやすいことになります。

身体が動くとき

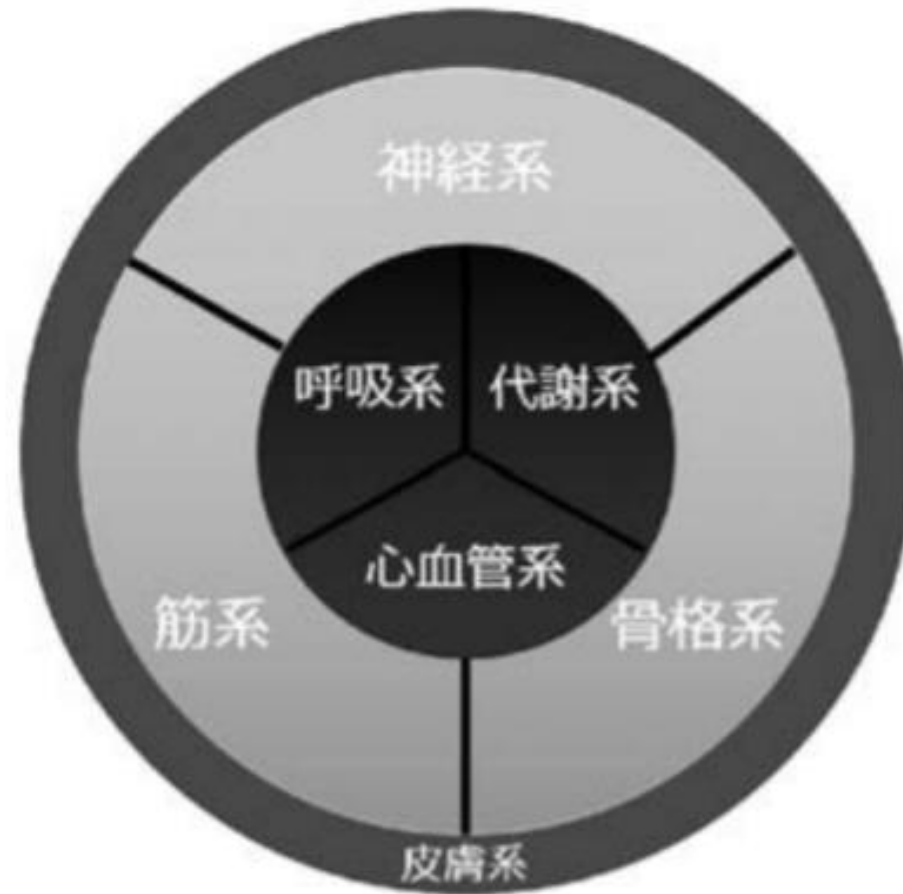
顕在性には 表層：皮膚

潜在性には 浅層：筋系・骨格系・神経系

深層：心臓・肺・内分泌器官 が働く

ー＞米国PT協会が示した運動系のモデル理論と一致する。

トレーニングをすると酸素供給、心臓・内臓の働き、脂肪の働きと
様々な臓器の動きが絡み合っって初めて活動を行うことができる



運動系 (<https://pt.wusm.wustl.edu/AboutUs/Pages/HumanMovementSystem.aspx> より)

運動系は生理的体系の一つであり，上記の体系が相互作用することで身体とその部位に運動をもたらす

IGF-1とは？

- **IGF-1とは**(IGF-1: insulin-like growth factor-1; インシュリン様成長因子-1)
インシュリンに非常に似た構造を持つ増殖因子で、成長ホルモンにより肝臓や他の組織（骨格筋など）で産生されます。成長ホルモン（GH）の作用の多くはIGF-1を介したものです。ただ、脂肪を積極的に代謝する作用や、抗インシュリン作用による耐糖能低下などは、成長ホルモンによる直接の作用であり、IGF-1にはありません。一方、IGF-1はインシュリンと類似した作用を持っています。インシュリンは細胞膜にあるインシュリン受容体に結合し、IGF-1は1型IGF受容体に結合して、細胞内にシグナルを伝達します。糖尿病の患者ではこの2種類の受容体がhybridを形成して、インシュリン抵抗性の一つの原因になりますが、IGF-1はこのhybrid受容体とも強く結合し、その作用を発揮できる優れた点を持っています。

- 以前はIGF-1とinsulinの比較をした文献が多く見られ、それらを蛋白代謝、糖運搬、グリコーゲンやトリグリセリド合成などの面から比較検討していましたが、近年では、IGF-1の持つ筋合成、筋分化、加齢、筋損傷、筋疾患に対する作用に注目した文献も増えてきました。

- 骨格筋ではIGF-1には2つのシグナル伝達系があります。
 - 1) PI3K (phosphatidylinositol 3-kinase) cascade
⇒筋芽細胞、筋衛星細胞の増殖
 - 2) MAPK (mitogen-activated protein kinase) cascade
⇒筋環細胞の融合、蛋白合成、糖取り込み、肥大、apoptosis回避
- IGF-1には 6種類の結合蛋白が見つかり、血清中ではIGFBP-3が95%のIGF-1と結合しています。IGFBP-3の発現はGHによって制御されています。

- IGF-1の受容体としてはIGF-IR(typeI IGF receptor)が知られており、IGF-1またはIGF-2と結合（insulinの500倍）します。その受容体は $\alpha_2\beta_2$ サブユニットからなり、 α は細胞外ドメイン、 β は膜貫通ドメインです。IGF-2は別の2種の受容体にも結合し、他の役割を果たします。

- **加齢に対するIGF-1投与**

加齢により30歳からGHもIGF-1も落ちていきます。加齢によりIGF-IRの発現は新生児期より若青年までに80%減少し、加齢とともにさらに減少していきます。さらに、蛋白同化機能も落ちていきます。mRNAは落ちませんのでターンオーバーの増加とも考えられています。

高齢者では血清IGF-1は最大筋仕事量と相関があり、運動療法で多少IGFの回復がみられる報告があります。

- IGF-1が臨床投与された報告では
 - 1) GH欠乏患者：除脂肪体重、筋力、筋蛋白合成の増加あり。
 - 2) 若運動家：GHの増加効果無し。IGF-IRの減少のため？
 - 3) 高齢者：① 18人抵抗運動とともに；効果なし。
②GHRHを11人に6週間、運動なし；IGF-1上昇、筋力も上昇。
などの報告があります。

- **筋萎縮状態へのIGF-1投与**

以下のような報告があります。

1) 絶食患者：筋異化をもたらす。IGF-1を蛋白、mRNAで減らす。低栄養が長く続くとIGF-1は下がる（ラット、ヒト）。

2) 敗血症患者：TNF α 上昇が筋異化をもたらし、IGF-1を下げる（TNF α 投与vitroでIGF-1による筋同化を妨げる）。

LPS(lipopolysaccharide)endotoxinやIL-1も血清IGF-1を下げる(ラット)。

3) 筋廃用性萎縮患者：筋apoptosisをもたらす。IGF-1投与や運動はこれを防ぐ。IGF-1過剰発現マウスでも無重力萎縮は見られた（受容体下流への影響?）。

- **IGF-1による結果的な筋重量増加が見られた臨床例**

- 1) 熱傷患者(1998) GHとともに投与。

- 2) 慢性閉塞性肺疾患(1992)

- 3) 癌性悪疫質(1992)

- 4) 重症骨粗しょう症(1999)

- 5) 腎障害(1999)

などの報告があり、HIVによる体重減少には効果はありませんでした(1996)。

- **DM（糖尿病）に対するIGF-1投与**

DMでは骨格筋でinsulinやIGF-1に抵抗性を出し、老化を早める傾向あります(ラット；ヒトでも少し)。

2つの糖運搬物質があります。GLUT1(膜)とGLUT4(細胞内)です。糖尿病の多くではGLUT1の発現の減少が見られます。さらにTNF α の影響があり、DMの筋ではmRNA4倍に上昇しています。受容体hybrid：insulinRとIGF-IRのhybridが肥満、DMで増加　insulin抵抗性につながるが、IGF-1はhybridとほぼ同じように結合でき機能します。すなわち、DMの筋wastingにIGF-1は有用性を保つことになります。

IGFはinsulin抵抗性DMに効く；GHを抑えるなどの作用がみられます。

- **筋疾患に対するIGF-1投与**

glucocorticoidやHMGCoA(3-hydroxy-3-methylglutanyl coenzyme A) reductase inhibitorによるものは、IGF-1シグナル(PI3K)を障害している(機序は両者で異なる)。

Glucocorticoidは上流でもIGF-1、IGF-2を減少させる(ラット)とともに、肝細胞でIGFBP-1発現を増やし筋への効果を減らします。IGF-1の筋apoptosis抑制効果も抑えます。

1) マウス筋萎縮性疾患では明らかな効果あり。

2) マウス ステロイドによる筋萎縮に大きな効果。局注でも大きな肥大効果。

3) ヒトの報告はない。

などの報告があります。

- **副作用**

浮腫、関節痛、顎関節痛、頭痛（25-60%）；ベル麻痺、視神経鞘浮腫(4%)

などが見られます。

IGF-1とIGFBP-3の複合投与で副作用軽減した報告があり（DM患者；2000年）、この併用治療は効果も大きいとの報告もあります(絶食マウス)。

- **局所投与方法（過剰発現）**

- 1) アデノウィルス：高齢ラット、27%筋力増加、筋重量は不変。（1998）
- 2) リポゾーム：熱傷ラット、速い上皮化、体重増、筋蛋白量増加。（1999）
- 3) プラスミド：筋特異的プロモーターを使って、、などの報告があります。

筋力増強の機序

- 1. 神経性要因
- 2. 筋肥大のメカニズム
- 3. 筋力増強に影響する因子

1. 神経性要因

- 筋力増強訓練が適切な条件下で継続されれば、発揮される最大筋力は経時的に増加する。訓練開始から約 1 週間以内の初期にみられる最大筋力の増加は、筋肥大を伴わないことが報告されており、結果として単位断面積あたりの筋力が増加する \dot{y})。その機序としては主に中枢神経系要因の改善によってもたらされるとされている。つまり運動単位数の増加、発火頻度の増加・同期化、拮抗筋の抑

2. 筋肥大のメカニズム

- 筋線維数の増加は胎生期までにほぼ終了するとされており、筋力増強訓練で生じる筋肥大は筋線維の断面積が増大したものである。筋線維の断面積増加は、それを構成する筋タンパクの合成が分解を上回った結果生じる。筋タンパク合成の制御には主にインスリン様増殖因子Ⅰ (IGF-Ⅰ) が重要な働きをしていることが知られている)。血液中の IGF-Ⅰ が筋細胞膜の表面にあるレセプターに結合することにより、細胞内のシグナル分子が活性化されタンパク合成が促進される)。筋力増強訓練によってもたらされる機械的ストレスは筋細胞膜上のメカノセンサーを活性化し、細胞膜の Ca チャンネルを変化させる。流入した Ca イオンは細胞内の Ca 依存性シグナル伝達を活発にして筋タンパク合成を促進する。

3. 筋力増強に影響する因子

- 過負荷の原則（overload principle）は筋力増強 訓練を行う際、最も重要な原則である。一般的に 筋力増強効果を得るためには、最大筋力の $1/3$ 以上の負荷で訓練を行う必要がある $1/3$ ）。さらに、ある特定の条件で行われた筋力増強訓練で得られる 効果は、同じ条件下における筋力において最も高いとする特異性の原則がある。

- これには筋の収縮様式による特異性（等尺性，求心性，遠心性，等張性，等速性で行われた訓練は，同じ収縮様式において最も増強効果が高い），負荷様式の特異性（最大負荷では最大筋力，負荷なしでは最大収縮速度，負荷 30％では最大パワーのへ効果が高い），関節角度の特異性（特定の角度で行われた訓練では，その角度における増強効果が最も高い）などがある．筋力増強訓練を行う場合には，これらの原則を考慮し，期待する増強効果に対して最も効率的な訓練処方を検討する必要がある．

- 1887年に、イタリアにあるシエナ大学のモルプルゴ教授は、実験により、「**筋肉の増強は、筋肉細胞が新たに生み出されて起きるのではなく、いまある筋肉が大きく太く成長することによって生み出される**」ということを発見しました。

- 1905年には、W.ルー氏が「**過負荷理論**」の原型となる運動システムの基礎理論、すなわち、「**筋肉は通常よりはるかに大きく働かせた時のみ成長する**」ことを提唱しました。

- 1953年に、西独（当時）ドルトムントにあるマックスプランク研究所のE.A. ミューラー博士とT. ヘッティンガー博士が10数年に渡り、200回以上の実験を重ねて、**アイソメトリックス（Isometrics）**という新しい運動法を発表しました。

- 西独（当時）ドルトムントにあるマックスプランク研究所のE.A. ミューラー博士とT. ヘッティンガー博士は、1953年に、
「**最大筋力の3分の2の力で、6秒間のアイソメトリックス運動法を1日に1回実施するだけで、筋力が最初の水準よりも毎週5%ずつ向上していく**」という実験結果を発表しまし

- その後、さらに実験を重ねて、「**最大筋力を5秒間ずつ、1日5～10回発揮すれば、筋力が最も向上しやすい**」という実験結果も発表しました。両博士の発表は、当時の運動生理学者やトレーニング専門家の注目を集め、この実験結果が本当に正しいのかどうか、世界中で追試験が行われました。

- それらの結果は、両博士の結果が得られた実験と得られなかった実験とに別れ、後に、両博士が発表した筋力強度と時間との関係が最大効果を生み出すかどうかは、個人差によることが判明しました。

その後も世界中では、実験の検証が行われ続け、現在では、アイソメトリックス運動法は、「**最大筋力の60%の力を7秒間発揮すれば、毎週4%ずつ筋力を増強させることができる**」というのが定説となっています。

また、「**毎週5回の運動で最適な結果が得られ、その後も毎週3～4回、運動をすることで達成された結果を保持できる**」とされています。

- さらに、アイソメトリックス運動法は、**アイソトニックス (Isotonics) 運動法**を併せて行うことでより効果が得られやすいことも確認されています。

因みに、アイソトニックス運動法とは、バーベルなどを繰り返して持ち上げるなどの一般的に行われているウェイトトレーニングのことになります。

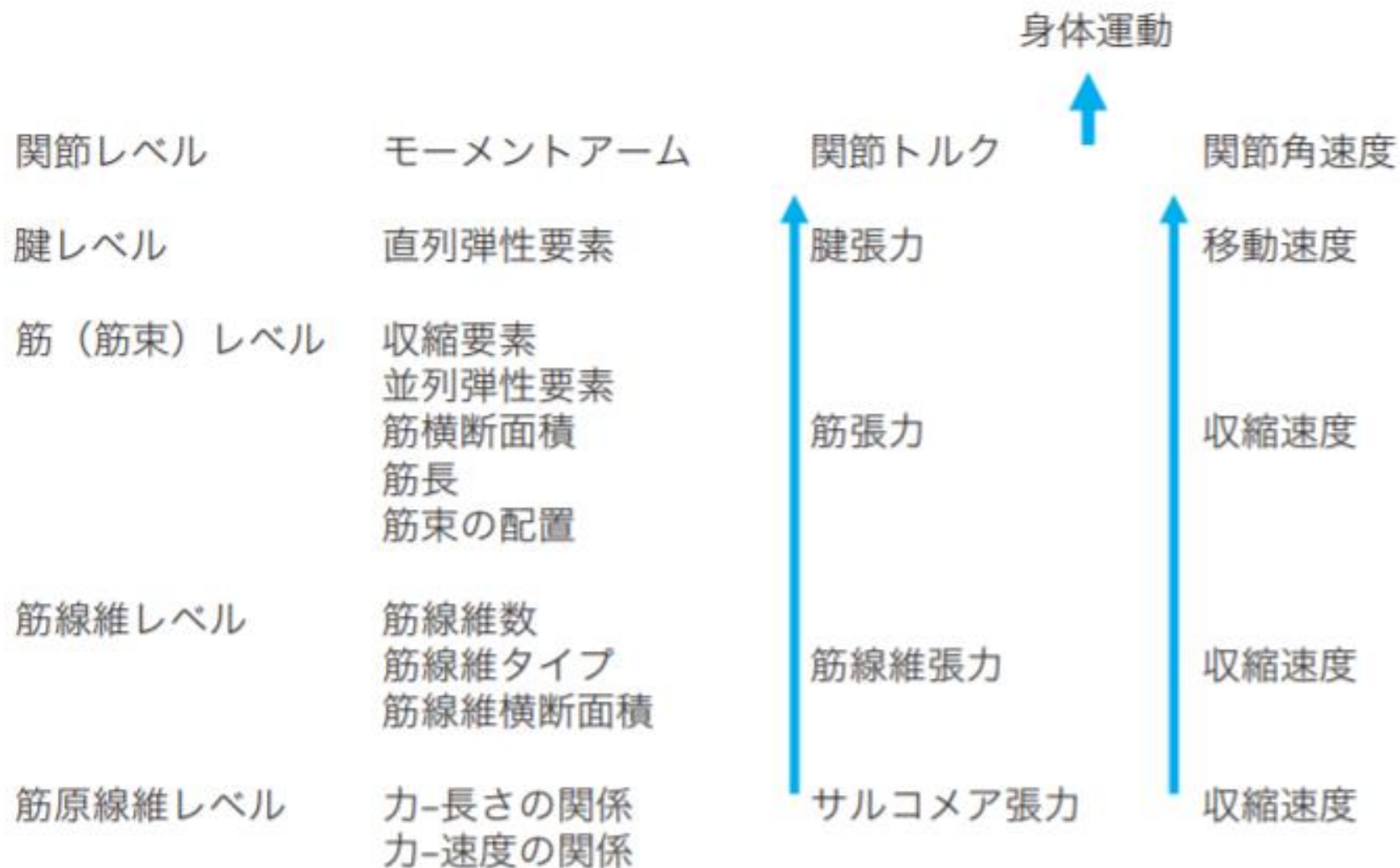


図1 筋力発揮：筋原線維レベルから関節レベルへ

臨床で遭遇している筋力とは単関節レベルで発揮できているモーメント（トルク）である。（九州看護福祉大学大学院 加藤浩教授から提供）

- 筋力維持と増強のための治療法は，関節可動域 運動とともに身体機能障害に対する理学療法の 2 大治療手技として，現在に至るまで臨床で用いられている．
- 身体運動を理解するためにオイラーモデルで表現し，肢節や体節の運動を起こす要因として筋力という筋機能の一側面を重要視してきた．
- しかしながら，身体運動をオイラーモデルとして捉えることには限界があり，運動制御モデルが構築され，筋力より運動制御における筋機能の協調性が重要視される傾向になった。

オイラーモデルとは

- 力学において、オイラーの運動方程式（オイラーのうんどうほうていしき）とは剛体の回転運動を表す式で運動を記述する方法。
- 一般に、トルク N と角運動量 L の関係は、剛体の回転中心、または剛体の重心を原点とする慣性系においては次のような表式となる。

オイラーモデル

- 一般に、トルク \mathbf{N} と角運動量 \mathbf{L} の関係は、剛体の回転中心、または剛体の重心を原点とする慣性系においては次のような表式となる

$$\mathbf{N} = \frac{d\mathbf{L}}{dt}$$

オイラーの等式

$$e^{\pi i} + 1 = 0$$

オイラーが発見した数式の中で最も有名であり、数学中で最も美しい数式の一つであると言われているものです。eはネイピア数と呼ばれる自然対数の底であり、 π は円周率、iは虚数といわれる二乗すればマイナス1になる数になります。一見意味不明な不思議な式ですが、これには指数関数と三角関数をつなぐ、これもオイラーが発見した重要な公式

- ・レオンハルト・オイラーは**1707年スイスのバーゼルに生まれました。父親が数学者で、オイラーは幼くして父親の数学の勉強を始め、13歳のときに数学者としての地位を確立しました。1733年に76歳でその生涯を終えるまで、サンクトペテルブルクで力学的研究を続けました。その後、オイラーはヨハン・ベッセルの推薦でロシアの首都サンクトペテルブルクに移り、ここで13年間の研究生活を送りました。1741年ロシアが政情不安定になったこともあり、プロイセン(現在のドイツ)の皇帝フリードリッヒ二世に招聘され、オイラーはベルリン科学アカデミーに移りました。
- そこで20年以上力学的研究を続けましたが、フリードナ・セグナーの招きにより再びサンクトペテルブルクのアカデミーに移りました。1771年には残った左目の視力も完全に失明し、失明したままに眠っています。



剛体の力学

- 固い物体は力を加えても変形しないし、運動するときも形を変えない、**完全に固い物体を考えて、これを剛体と名付けます。**剛体は無数の質点からなると考えられますが、**剛体内の各質点の相互の位置関係が変わらないように互いに内力をおよぼしあっていると考え**るのです。
- 質点相互の位置関係が変わらないということが剛体のもつ著しい特徴であり、**剛体は質点系の特別な場合として扱うことができます。**

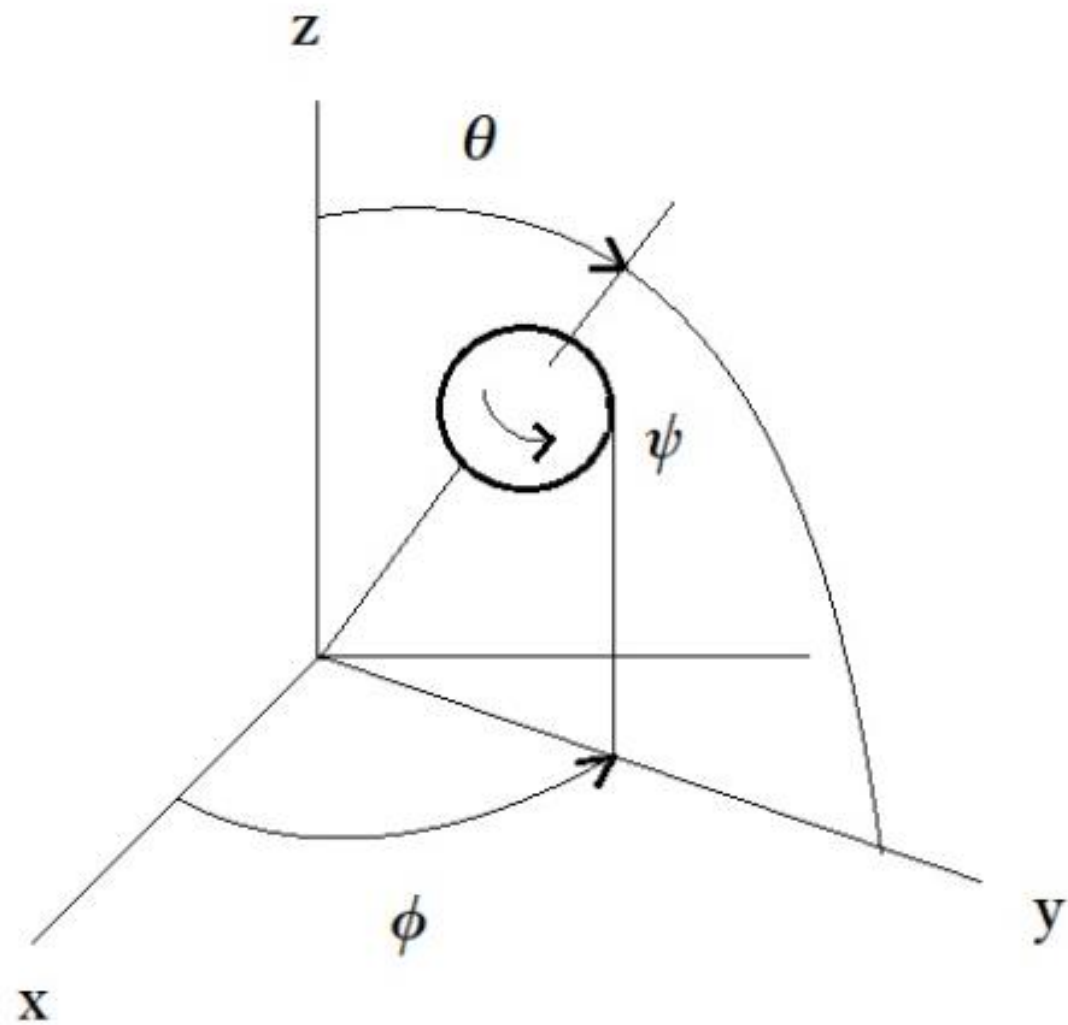
- ちなみに質点とは、たとえばボールの落下運動を調べるときはボールの中心の位置を考えるでしょう。この場合のように**物体の大きさを問題にしないで、質量をもった点として扱うときこれを質点と呼びます。**
- 地球や、木星のような巨大なものでも、太陽の周りの公転だけを扱うときにはこれらを質点とみなすことができます。また、たとえ**小さな物体でも、斜面を転がる円板などは、質点とみなさずに回転まで考えなければなりません。**この質点が集まったものが剛体です。



- 剛体の位置、回転をきめるにはいくつの変数が必要でしょうか。
- 剛体内の一点は**空間に固定した座標軸により、三個の座標**できまるはずですが。この点を通して剛体に固定した一つの直線を考えると、その方向は**極座標で二個の変数**が必要になります。
- 最後にこの剛体は**この直線のまわりに回転**できるので、それを表す角を選ぶ必要があるでしょう。こうして**剛体の位置と回転は六個の変数により定められ、このことを剛体の自由度は六**であるといいます。

$$\textcircled{1} \quad m \frac{d^2 \mathbf{r}_g}{dt^2} = \sum_j \mathbf{F}_j$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{d\mathbf{L}}{dt} = \sum_j (\mathbf{r}_j \times \mathbf{F}_j) = \mathbf{N}$$



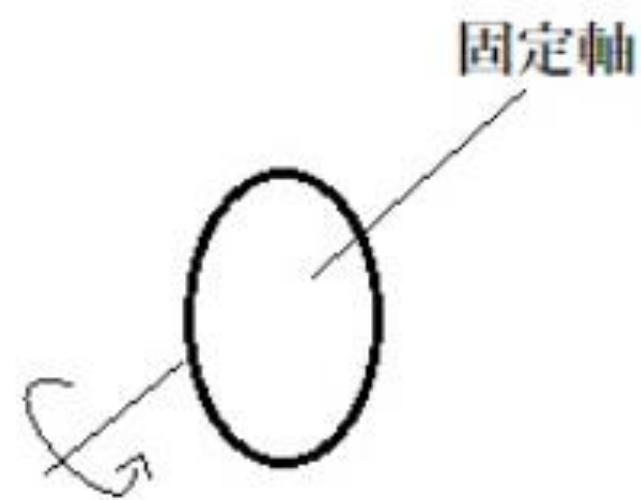
- そのため**剛体の運動は六個の運動方程式によって定まる**のです。
- 剛体の運動を定める六個の運動方程式として、**重心に対する運動方程式**である1式と、**角運動量に対する運動方程式**2式が用いられます。
- もし**外力のモーメント N が常にゼロ**ならば、**角運動量 L は一定に保たれる**でしょう。これは**剛体に対する角運動量保存の法則**になります。

$$\textcircled{3} \quad \omega = \frac{d\varphi_j}{dt}$$

$$\textcircled{4} \quad m_j r_j \omega$$

$$\textcircled{5} \quad m_j r_j^2 \omega$$

$$\textcircled{6} \quad L_z = \sum_j m_j r_j^2 \omega$$



- 剛体が一直線のまわりに自由に回転でき、そしてこの回転以外の運動ができない場合、この直線を固定軸といいます。
- この場合、この軸のまわりの回転角だけで剛体の位置と傾きは定まるはずです。したがって、自由度は一となり、一個の運動方程式だけで運動が定まるでしょう。
- これは六個の運動方程式からうまく選ぶ必要がありますが、**固定軸のまわりの角運動量に対する式を使えばいい**ことがすぐにわかります。

- 固定軸を z 軸にとり、剛体を構成する各質点の軸からの距離を r_i とし、軸上に原点をもち、空間に固定した円柱座標を用いれば質点 j の角速度は3式です。
- しかし、3式で表される**角速度は各質点に共通であって、剛体の回転の角速度になります。**
- そして**質点 j の運動量**は4式であり、**軸に関する角運動量**は5式です。
- よって**軸に関する全角運動 L** は6式になるでしょう。

$$\textcircled{7} \quad I = \sum_j m_j r_j^2$$

$$\textcircled{10} \quad I \frac{d\omega}{dt} = N$$

$$\textcircled{8} \quad L_z = I\omega$$

$$\textcircled{11} \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\textcircled{9} \quad \frac{dL_z}{dt} = N_z$$

$$\textcircled{12} \quad I \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = N$$

- j に関する和は剛体を構成する質点全体に関する和になります。ここで固定軸によって定まる量7式は固定軸のまわりの剛体の慣性モーメントとよばれ、これを用いれば、軸のまわりの角運動量は8式です。
- 角運動に対する運動方程式は9式となるので、固定軸をもった剛体の運動方程式は10式になります。また剛体が基準の位置から回った角を φ とすれば角速度は11式ですので、運動方程式は12式です。
- 力のモーメント N を一定にしたとき剛体の角速度は慣性モーメントに逆比例します。したがって、質量が直線運動の慣性の大きさを表すのに似て、**慣性モーメントは回転運動の慣性の大きさを表す**のです。

オイラーモデル

- 剛体に固定された座標系における角運動量 \mathbf{L}' と、剛体の角速度ベクトル $\boldsymbol{\omega}$ を使うとこの式は以下のように表される。

$$\mathbf{N} = \frac{d\mathbf{L}'}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{L}'$$

オイラーモデル

慣性主軸座標系では主慣性モーメント I_i によって $L_i = I_i \omega_i$ ($i = 1, 2, 3$) と表せることを使い、これを成分ごとに分解して整理すると、以下の式になる。

$$N_1 = I_1 \frac{d\omega_1}{dt} - (I_2 - I_3)\omega_2\omega_3$$

$$N_2 = I_2 \frac{d\omega_2}{dt} - (I_3 - I_1)\omega_3\omega_1$$

$$N_3 = I_3 \frac{d\omega_3}{dt} - (I_1 - I_2)\omega_1\omega_2$$

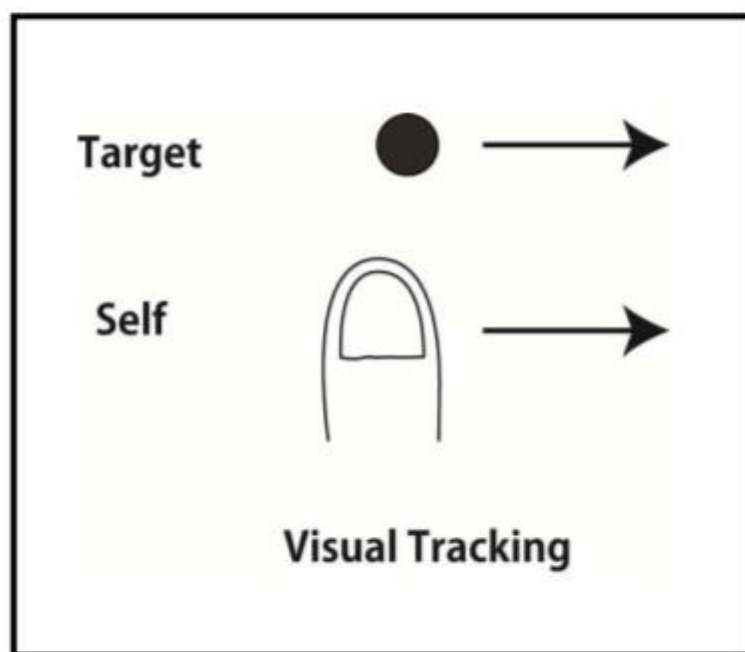
運動制御モデルとは

- 剛体のモデルに加えて、情報モデルを加えたもの
- 身体性：人間自身の特性がもたらす制約
- 物理的制約：神経系における伝達遅れ、筋の収縮特性、力学的特性、筋骨格系の構造、多自由度系、
- 情動的制約：情報表現の単純性（エネルギー、記憶容量、表現）、脳情報処理の時間遅れ（神経力学）、計算のゆらぎ、ばらつき（神経力学による計算過程）

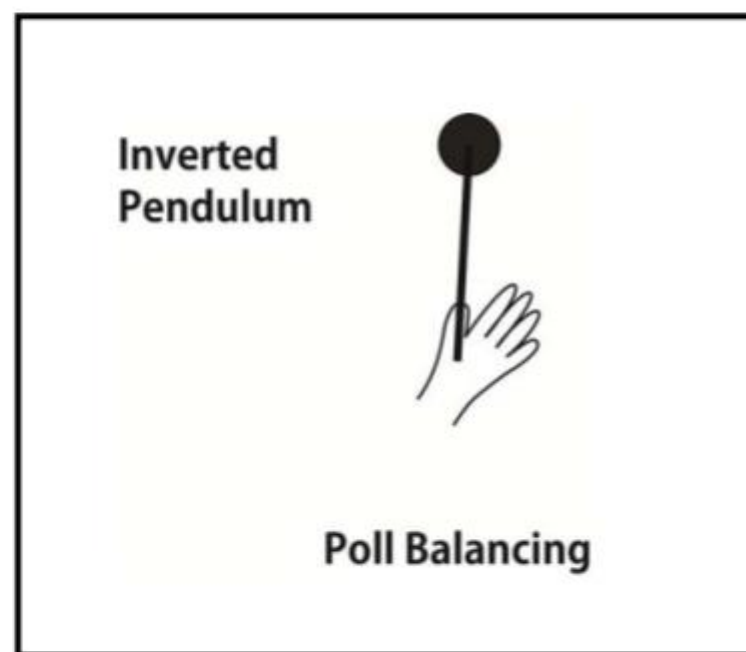
- 主観に依存した運動制御
- 間欠的制御モデル

連続的制御課題

目標トラッキング課題



倒立振り子課題



脳が常に運動を計画し続けなければならない設定

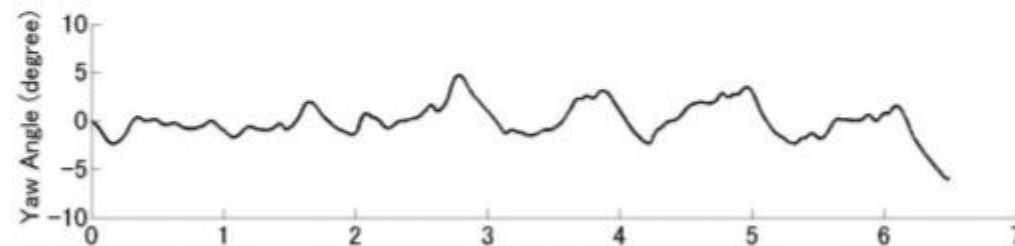
歩行動作の矯正

- 歩行中の腰の回転速度を音にしてフィードバックする.
- 音のリズムから腰の回転の対称性がわかる.

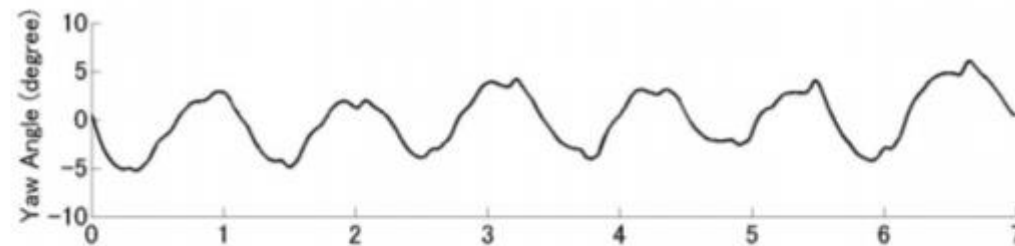


フィードバックの効果

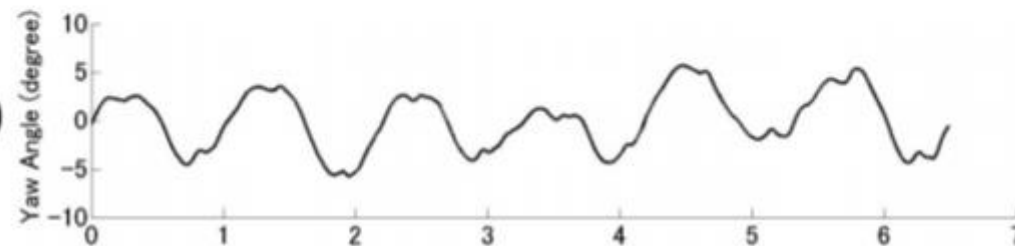
1: フィードバックなし



2: フィードバックあり



3: フィードバックなし (学習後)



■ 多自由度性

- 身体運動の協調構造：効果的な身体の使い方
 - 多自由度性をいかに活かすか？
 - 環境のもつ効果をどう利用するか（重力の効果）
- 現場に近いレベルでの研究
 - 日常生活，楽器演奏，舞踊，職人技における身体の使い方

■ 運動制御における感覚情報・時間情報処理

- 運動の遂行，学習において感覚情報をどのように利用しているのか，タイミングをどのように定めるのか？
-

- 筋力増強の実際

筋力増強運動の基礎理論

- 筋力増強運動を効果的に行うためにはトレーニングの原則に従って行うことが重要である

- ①過負荷の原則 通常使用する筋力よりも高い負荷を課さなければ筋力増強は期待できない． そのためには \emptyset RM (\emptyset repetition maximum : \emptyset RM) を計測したうえで、適切な負荷を設定する必要がある． ②漸増負荷の原則 筋力増強運動により筋力が増えた場合、負荷を再設定する必要がある． 筋力増強運動を行う前に 必ず \emptyset RM の計測を行ったうえで、その日の負荷を設定することが原則として望ましい． ③反復性の原則 筋力増強運動は、即時的効果は期待できない． このことは高齢者や病態を有している者ほど顕著である． そのため、適切な負荷での筋力増強運動

- た原則も、初期で全認齡、の患えな、なと
 原則、明確に、初範共は、多く、た、こと、
 の、明、起、運動、側、に、な、て、た、こ、
 意識、を、起、運動、側、に、な、て、た、こ、
 ⑤、目的、を、も、者、の、効、果、な、て、考、慮、と、
 目的、象、は、と、患、の、効、果、な、て、考、慮、と、
 と、の、現、れ、側、運、動、精、神、同、要、を、起、筋、
 原則、適、る、側、運、動、精、神、同、要、を、起、筋、
 原、く、た、る、か、す、原、則、し、記、効、に、変、く、
 の、な、つ、あ、の、方、の、状、と、上、ば、み、的、
 性、少、合、あ、の、方、の、状、と、上、ば、み、的、
 異、は、見、要、め、を、別、健、ス、て、け、れ、の、
 特、果、に、必、高、的、個、験、エ、つ、な、運、動、
 ④、効、荷、る、を、目、⑥、驗、エ、つ、な、運、動、
 も、負、す、力、の、経、サ、行、の、特、関、節、に、
 る、て、た、に、久、そ、る、モ、サ、行、の、特、関、節、に、
 あ、し、れ、に、久、そ、る、モ、サ、行、の、特、関、節、に、
 で、返、ら、明、筋、か、あ、ル、ホ、る、を、行、の、特、関、節、に、
 要、り、え、か、の、筋、の、要、レ、的、異、筋、の、起、
 重、繰、与、の、か、の、筋、の、要、レ、的、異、筋、の、起、
 が、を、は、る、の、め、が、重、術、学、と、運、動、を、起、
 と、動物、する、高、と、が、技、術、学、と、運、動、を、起、
 こ、運、生、善、め、を、こ、力、一、合、原、則、筋、や、
 う、強、改、高、力、を、こ、力、一、合、原、則、筋、や、
 行、増、る、を、筋、お、く、格、す、て、人、間、性、の、筋、
 て、力、あ、何、揮、て、格、係、し、人、間、性、の、筋、
 し、筋、が、発、し、て、格、係、し、人、間、性、の、筋、
 復、に、要、て、力、通、も、が、人、間、性、の、筋、
 反、單、必、つ、筋、を、を、差、因、は、そ、⑦、的、可、要、
 を、だ、つ、よ、の、般、識、性、要、者、で、い、長、が、重、

表1 等尺性筋力強化における強度と時間⁵⁾

運動強度 (最大強度に対する割合)	筋収縮持続時間 (s)	
	最低限度	適正範囲
40～50%	15～20	45～60
60～70%	6～10	18～30
80～90%	4～6	12～18
100%	2～3	6～10

DeLorme法

表2 DeLorme らの漸増抵抗運動⁶⁾

重錘抵抗運動 load-resisting exercise		
セット数	回数	負荷
1	10 回	10 RMax ^(*1) の 50%
2	10 回	10 RMax の 75%
3	10 回	10 RMax
重錘抵抗運動 load-resisting exercise		
セット数	回数	負荷
1	10 回	10 RMin ^(*2) の 200%
2	10 回	10 RMin の 150%
3	10 回	10 RMin

*1 10 RMax (10 repetition maximum) : 全関節可動域を 10 回連続して運動し得る最大の負荷の大きさ

*2 10 RMin (10 repetition minimum) : 全関節可動域を 10 回連続して運動するために必要な最小の負荷の大きさ

- 負荷設定 筋力増強の条件は、運動の強度、運動の持続時間、運動の頻度がある。Hettinger の研究¹⁾によれば、筋力維持には最大筋力の 20～30%以上の負荷、筋力増強には最大筋力の 40～50%以上の負荷が必要とされる。さらに、筋収縮持続時間の範囲も提示されている（表 1）。一方、DeLorme らは等張性運動における漸増抵抗運動（progressive resistance exercise）の理論を報告している（表 2）。筋力増強のための負荷の最低基準は「最大筋力の40%以上」が必要とされている。米国スポーツ医学会のガイドラインでは、健康な成人のための筋力トレーニング強度として8～12RM で最低 1 セット、週 2～3回の運動頻度を推奨している。50～60歳の高齢者や低体力者は 10～15RM で最低 1セット、週 2～3回の運動頻度を推奨している。

- 臨床では筋力増強も重要であるが、筋群の空間的要素の改善も重要となる。例えば、股関節外転運動に関与する筋群として、大殿筋、中殿筋、大腿筋膜張筋、外側広筋がある。これらがバランスよく収縮して股関節外転運動が行えることが理想であるが、外傷後や手術後は、ある特定の筋に依存した運動となる。著者の経験上、筋力増強を行う前に運動に関する筋群の空間的要素改善を優先すべきである。負荷や回数を上げる場合は、空間的要素を確認しながら遂行することが重要である。

表 3 抵抗運動についてのガイドライン（文献 7 を改変）

	セット	繰り返し数	運動の種類数	頻度（回/週）
健康で座業の多い人				
1998 米国スポーツ医学会 Position Stand	1 セット	8～12 回	8～10	2～3
1998 米国スポーツ医学会ガイドライン	1 セット	8～12 回	8～10	2（最低）
1996 Surgeon General's Report	1～2 セット	8～12 回	8～10	2
高齢者				
Pollock et al	1 セット	10～15 回	8～10	2（最低）
心疾患患者				
1995 米国心臓協会	1 セット	10～15 回	8～10	2～3
1995 米国心肺リハビリテーション協会	1 セット	12～15 回	8～10	2～3

- 方法 筋力増強運動の方法として、錘による方法、マシンを用いた方法、セラバンド、エクササイズボール、徒手抵抗運動、自重による自動運動、電気刺激を用いた方法などさまざまなものが存在する。どの方法を選択し、遂行するかについては、対象者にとって最も適した方法を選択すべきである。実施する際にターゲットとする筋は、少なくとも他の周囲筋より筋収縮により発揮される張力が低いため、高負荷となると必然的に筋収縮力の強い筋による代償運動が生じた状態にてトレーニング課題を実施する可能性が高い

- そうなると、より強い収縮力を有する筋はさらに強化され、ターゲットとした筋収縮力が弱化した筋はあまり強化されず、運動における筋機能の空間的要素のバランスがさらに障害される。それぞれの方法に一長一短はあるが、必ず治療者による評価と再評価によって、どのトレーニング方法が望ましいかを選択しながら筋力トレーニングを進めるべき

トレーニングの原理, 原」

- Rouxによる「機能的適応」に関する知見を根拠としている。
- Roux, Wilhelm (1850 —1924) は、ドイツの解剖学・発生学者であり、形態学が記載科学であった時代に、実験的方法を取り入れた「因果的形態学の開拓者」といわれている。
- 彼は、形態の発生の原因をつきとめる初期の研究の中で、血管系の発生が、主として機能的要請に対する直接の適応として決定されることを示した。
- 例えば、血管内膜は血流の抵抗をできる限り小さくするように適応が起こり、筋層は圧の増加に反応して肥厚するといった適応が起こる、などである。
- 彼はこのような実験的発生学の研究を通して、ヒトの骨格筋や骨などの機能的適応に関する成果も公開している。

「Rouxの法則」

- スポーツ科学の分野では， Rouxの機能的適応に関する研究成果をトレーニング刺激に対する身体 の適応ととらえ， 以下のような「Rouxの法則」としてトレーニング理論の根拠的理論に位置づけた。
- ①活動性肥大
- ②不活動性萎縮
- ③長期にわたる機能向上制限による器官の特殊な活動能力減退

これら三つの法則は， Rouxの発生機構学的実験を通して帰納的に得られた「仮説」であり， その後， 多くの研究者の追試により確かめられ「法則」のレベルまで強化（確証）された命題である。

運動療法の分類

- 「運動療法とは、障害や疾患の治療や予防のために運動を活用すること」(厚生労働省)
- 19世紀初頭にスウェーデン体操（この中の医療体操など）で「運動量」「運動方向」「速度」「リズム」を明確にすることや、運動の開始肢位及び終了肢位の重要性が発表されています。Holding（現在の等尺運動）、Concentric Movement（短縮性運動）、Eccentric Movement（伸長性運動）などの語もこの研究によって定義されていると言われています。
- (Per Henrik Ling, 参考文献1)

- 筋機能を評価する手段として、著名なDanielsら以前に「徒手筋力テスト（MMT・Manual Muscle Testing）」を考案し発表しています。これは重力と抵抗の概念を含む検査方法として作成されたものです。（Wilhelmine G.Wright ,Robert W. Lovett, 参考文献2、3）
- 筋力トレーニングの方法として現在もその基礎となっている研究としては下記が著名と云われています。

- 等張運動 (Isotonic Exercise) を応用した「漸増抵抗運動」 (Progressive Resistance Exercise ; PRE) を発表しています。またRM(Repetition Maximum)の概念を導入しています。(DeLorme,1945年、1948年 参考文献 4、 5)

- 参考文献：

- 1.P. H. Ling &Richard J. Cyriax M. 「Educational Gymnastics」 R. C. S. 697-704,Published online: 24 Apr 2013.American Physical Education Review, Volume17,1912-9
- 2.Wright W.G. Muscle training in the treatment of infantile paralysis. Boston Med Surg J. 1912; 167: 567-574.
- 3.Lovett R.W, Martin EG. Certain aspects of infantile paralysis and a description of a method of muscle testing. JAMA : 66 729-733.1916
- 4.Delorme T. L. Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. JBJS: 27(4)645-667, October 1945.
- 5.Delorme T. L. Technics of progressive resistance exercise. Arch Phys Med : 29(5),263-273,1948
- 6.Muller E.A. Hettinger T. The difference of training speed of atrophied and normal muscles. : 15(3),223-30,1953

運動療法の種類

- a. 他動運動 (Passive Exercise)
- 外力による運動で本人の随意的な運動を行わない場合は筋収縮が殆ど起きません。徒手的な介助、モーターなどの駆動が可能な機器、重錘などによる外力も使用されます。
- b. 自動介助運動 (Active Assistive Exercise)
- 本人が筋収縮を起こし自力により動作を行いながら、徒手的な介助、モーターなどの駆動が可能な機器外力で補助を加える運動です。
- c. 自動運動 (Active Exercise)
- 本人が筋収縮を起こし自力による運動で自重以外の抵抗や介助は用いないで行う運動です。



- 関節可動域改善の運動
- 他動運動、自動運動、自動介助とともに使用されます。
キーワードとして筋の収縮、筋の弛緩、拮抗筋、痙性、拘縮、
等などがあります。

- 筋力増強運動

- 筋力増強運動とは筋収縮を起こさせる必要があり、大きな筋収縮を起こさせるためには抵抗運動が必要です。筋力増強のためには最大抵抗を与えるのが最も効果的といわれています。しかし最大抵抗を与えることは難しく、安全面からこの最大筋力に対する抵抗の比率などを考慮した抵抗を決定し反復します。また漸増抵抗運動によって徐々に抵抗を上げていくことも効果があるといわれています。

- 持久力増強運動
- 筋力増強運動は、負荷をできるだけ大きくし筋の反復回数を少なくするという元々の考えに対して、持久力増強運動は、負荷を低くし反復回数を多くするという考え方も用いられます。

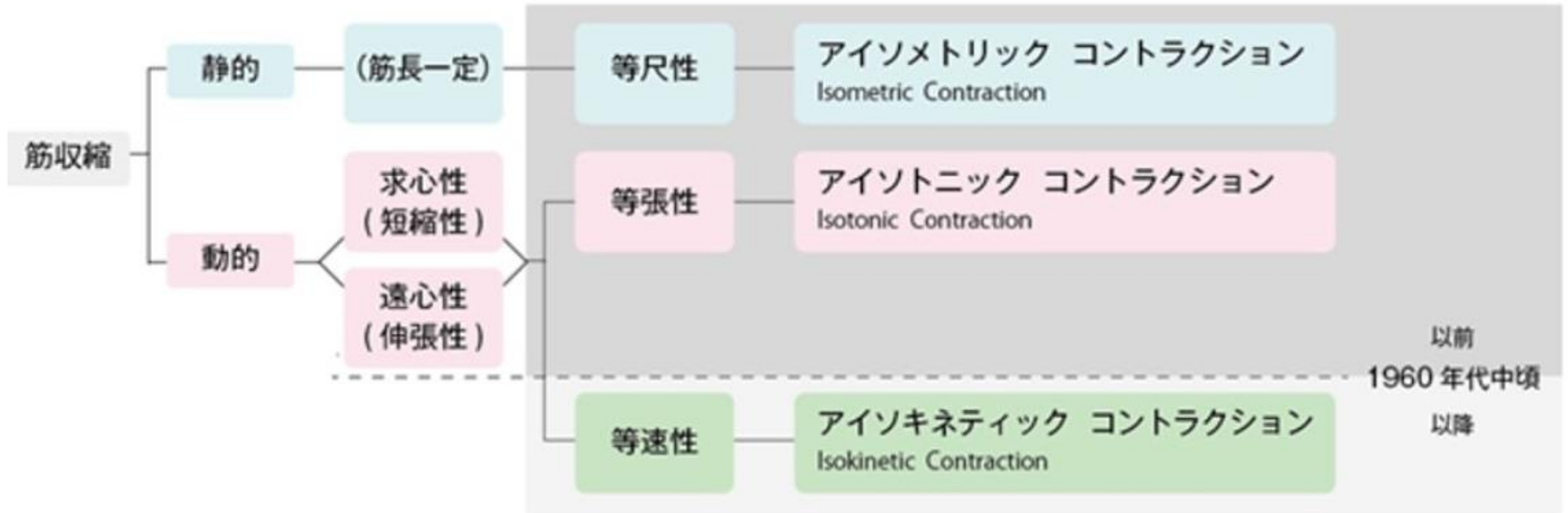
- 協調性改善運動

- 運動の協調性とは、正常状態で運動を円滑に行うことができるということです。

運動時には多数の筋が同時に収縮することが要求され、それら多数の筋収縮の大きさと速さとが調和のとれたスムーズな運動に関係しています。これにはその運動に必要な筋群の収縮のみならず、不必要な筋群が弛緩することも重要です。一定の動作には、その動きを生じるための主動作筋が働き、協同筋や固定筋がこれを助け、その動きに対して反対の方向に働く拮抗筋は弛緩する。協調性に必要なこれらの機構は、主として筋、腱、関節などの固有受容器からのフィードバック、あるいは視覚や聴覚によって調節されています。協調性訓練は最大筋力に比して弱い筋収縮による動作を頻回に反復する必要があります。

- 運動速度の増大運動（敏捷性の増大運動）
- 歩いたり立ったりの日常生活の動作では、大きな筋力をゆっくり発揮しているのではなく、必要とする瞬間にある程度の筋力を素早く発揮して成り立っています。
そのため運動療法（機能的運動）の最終の段階では上記の協調性訓練と併せて、運動速度を上げる訓練が必要になります。運動速度を早くするためには動作筋が素早く収縮し、同時に拮抗筋が素早く弛緩することが必要になります。運動速度には筋と中枢神経との作用が関係しています。

筋の活動様式



アイソイナーシャル コントラクション

d. 抵抗運動 (Resistive Exercise)

- 抵抗に抗して行う運動のことで、徒手的な抵抗や、モーターなどの駆動が可能な機器、重錘などで外力を加える運動です。これらを用いる運動療法の基本として、その種類、強度、持続時間、実施頻度などを含めて内容が決定されます。
- 一部ですが下記の様な各種の運動療法が行われます。



運動の記憶はどれくらい維持されるのか？

- 例えば、自転車に乗るという技術
- 一度身に付ければ、長年乗っていなくても、すぐ乗れるようになる・・・運動中枢神経が技術を記憶する・・・非可逆性という
- トレーニングを行って筋力が増えた・・・トレーニングをやめると元に戻ってしまう・・・・・・・・・・可逆性という
- 長期にわたる筋力トレーニングをすると、再開後速やかに筋力が戻るという・・・・・・・・・・マッスルメモリーという

トレーニングの原則には

1. 漸進性の原則
2. 全面性の原則
3. 意識性の原則
4. 個別性の原則
5. 継続、反復性の原則

The Hallmarks of Aging

(López-Otín C, et al., Cell 153:1194, 2013)

ステムセルエイジング

ゲノム不安定性

テロメア短縮

エピジェネティック変化

タンパク質恒常性の喪失

栄養センシングの異常

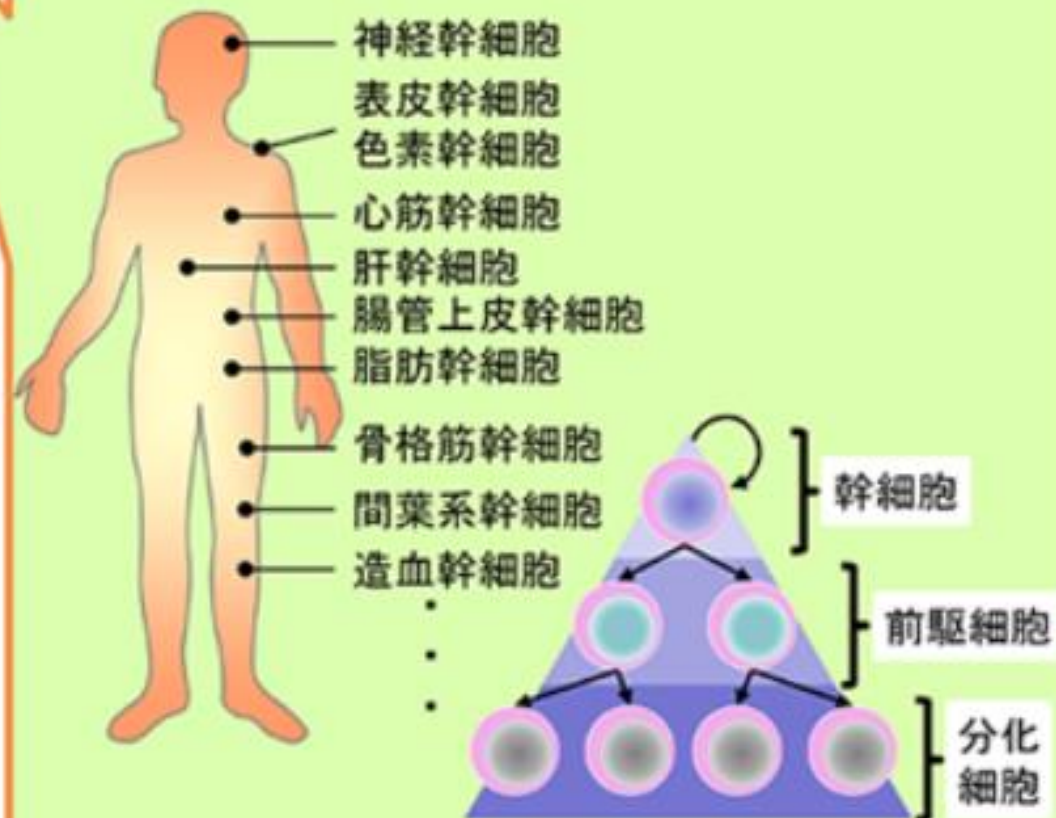
ミトコンドリア機能異常

細胞老化

細胞間情報伝達の変化

幹細胞システム:

絶え間ない再生機転が多くの臓器・組織を維持



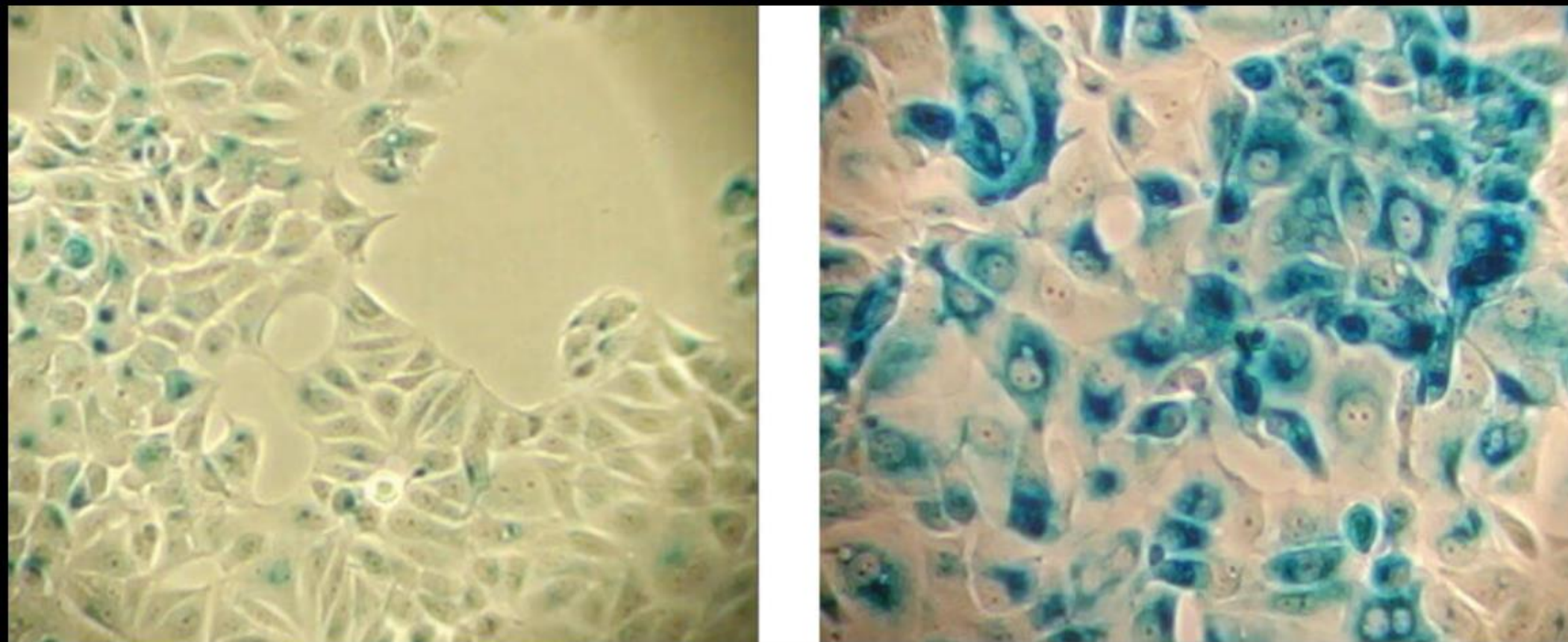
細胞老化 (Senescence) とは

- [illegible]

- 老化細胞の特徴には、形態的な変化、代謝の変化、クロマチンの再構成、遺伝子発現の変化などが挙げられます。近年では、老化した細胞が**SASP (Senescence-associated secretory phenotype)**と呼ばれる炎症促進性の表現型を獲得することも注目されています。細胞老化の生物学的な役割は非常に複雑で、有益な効果と有害な効果の両方が報告されており、生理的状况によって異なるようです。例えば、細胞老化は損傷を受けた細胞が悪性形質転換し、がん化するのを防ぐ機構であると考えられている一方で、様々な加齢に関わる病態(組織の変性、炎症性疾患、がんなど)に老化した細胞が関与するという知見もあります。
- 混同しやすいですが、加齢 (**aging**) と細胞老化 (**cellular senescence**) は同一の現象ではありません。加齢は時間の経過に伴って進行的に起こる現象ですが、細胞老化は全生存期間中に起こり得る現象で、胚発生の段階で起こることもあります。老化した細胞の数は加齢と共に増えますが、細胞老化は発生や創傷治癒時にも重要な役割を果たします。

β -ガラクトシダーゼ

■ Switch to Light Mode



β -ガラクトシダーゼ染色 (青色に染色された細胞) は、pH依存性 β -ガラクトシダーゼ活性 (既知の老化細胞の特徴) を検出する手法です。正常細胞 (左パネル)、老化細胞 (右パネル)。

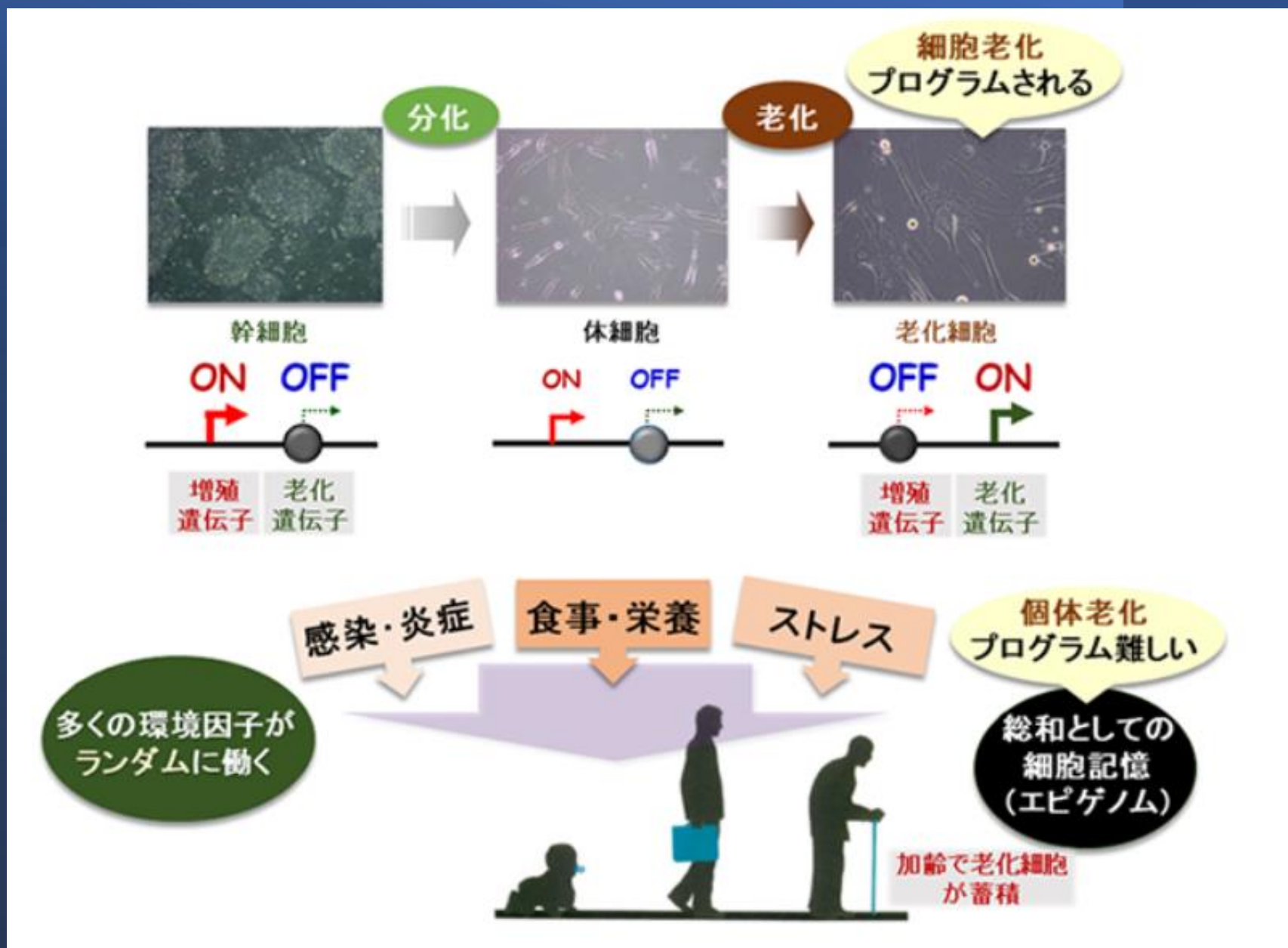


図1. 細胞老化と個体老化

- 理学療法の遂行に関わる理論は、ここに挙げたものの以外にもたくさん存在する。
- ○○理論と書かれていても、どのように研究されて記述され、発表され、吟味されてきたか、注意深く読みとること。
 - 先人の研究をきちんと調べて行きましょう！