

令和6年3月29日 第101回日本生理学会モデル講義

特殊環境の生理学

—宇宙環境を例に—

環境の中で生きる体の変化とホメオスタシス
宇宙医学を題材に考えてみよう

東北医科薬科大学医学部生理学
浅香 智美

内部環境の維持 = 生きる

ホメオスタシス

内部環境を乱すような外部環境(ストレス)に対して
生物は応答・適応し内部環境(恒常性)を維持

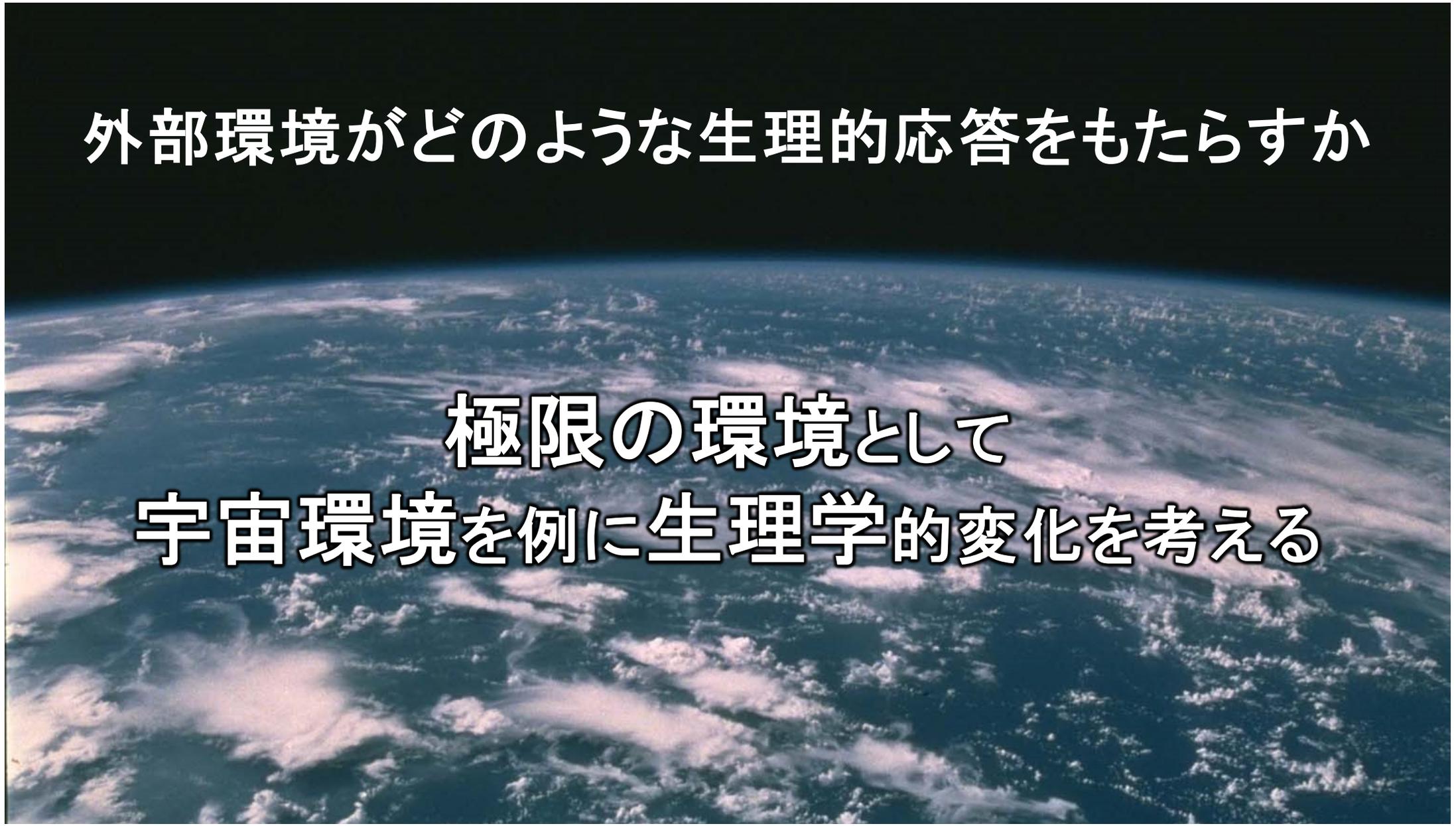
外部環境

生命を取り巻く環境

物理的 (温度, 音, 圧力, 放射線, 光)
化学的 (酸素, NOS, 薬剤)
生物的 (炎症, 感染)
心理的 (怒り, 不安)

外部環境がどのような生理的応答をもたらすか

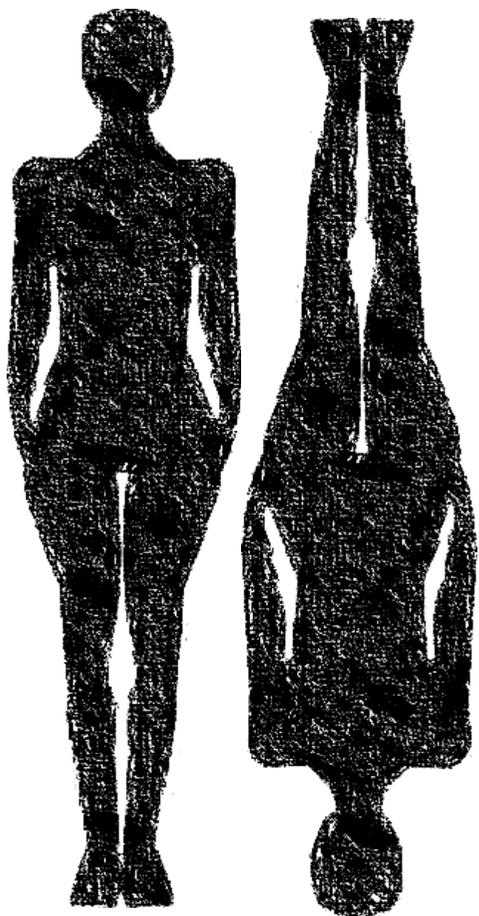
極限の環境として
宇宙環境を例に生理学的変化を考える





宇宙環境と人体への影響

宇宙環境は・・・



微小重力(無重量)
閉鎖環境(宇宙船内)
日周リズム
(国際宇宙ステーションは
90分で地球を一周)
放射線
限られた資源
(電力・酸素・水・食料)

体液シフト

骨・筋量減少

免疫機能低下

生体リズム影響

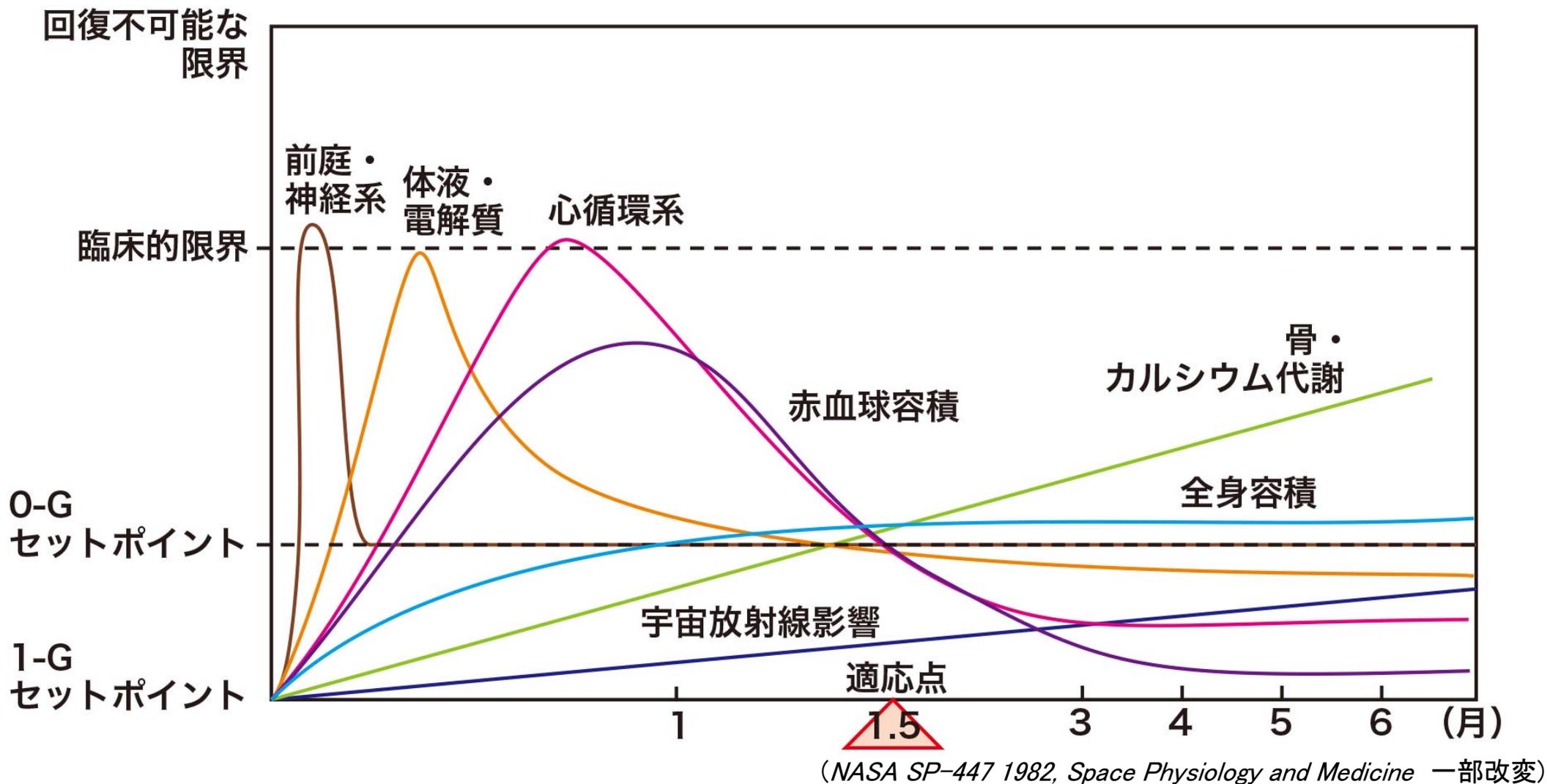
放射線影響

知覚の変化

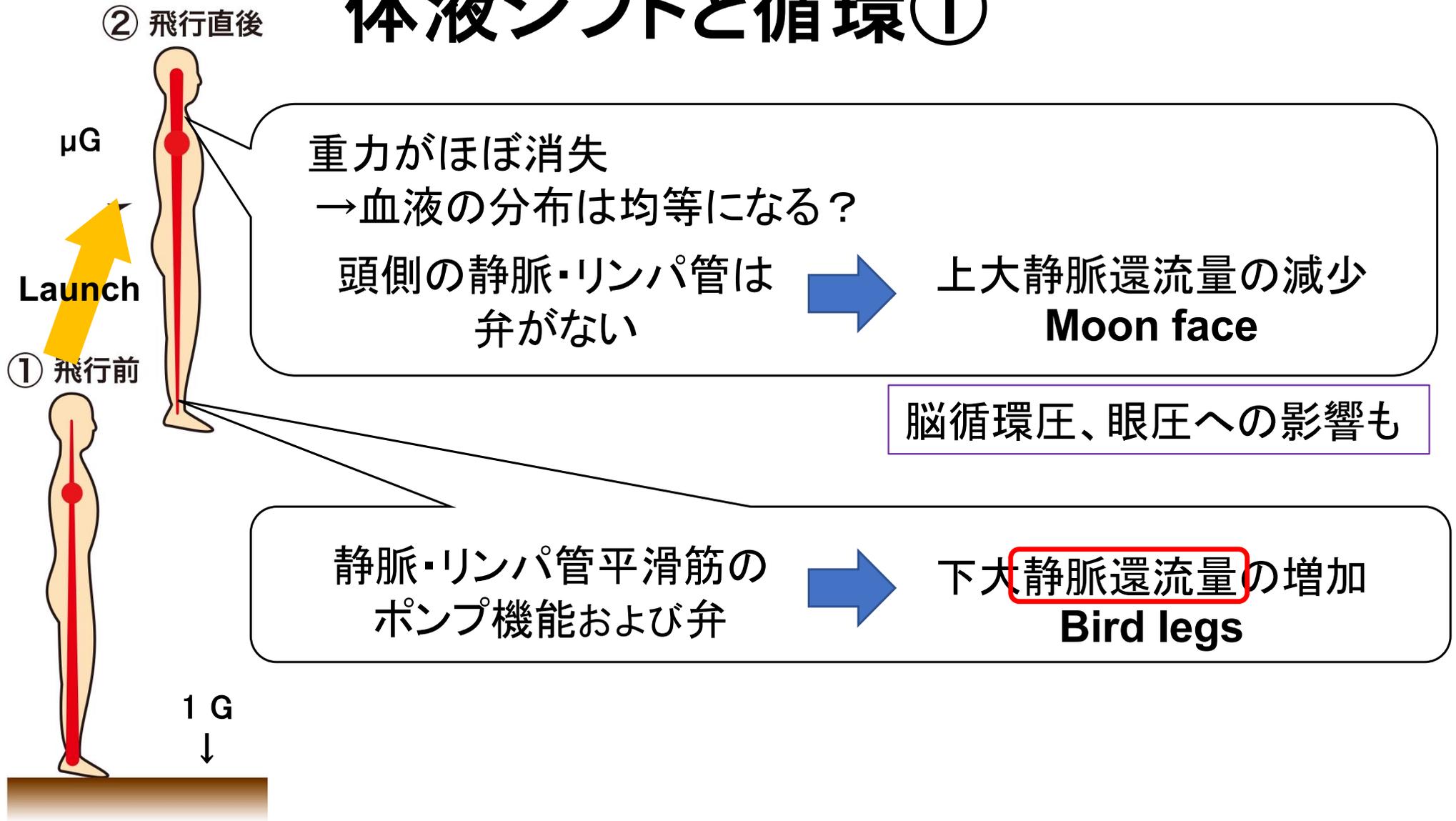
精神的影響

自律神経機能の低下

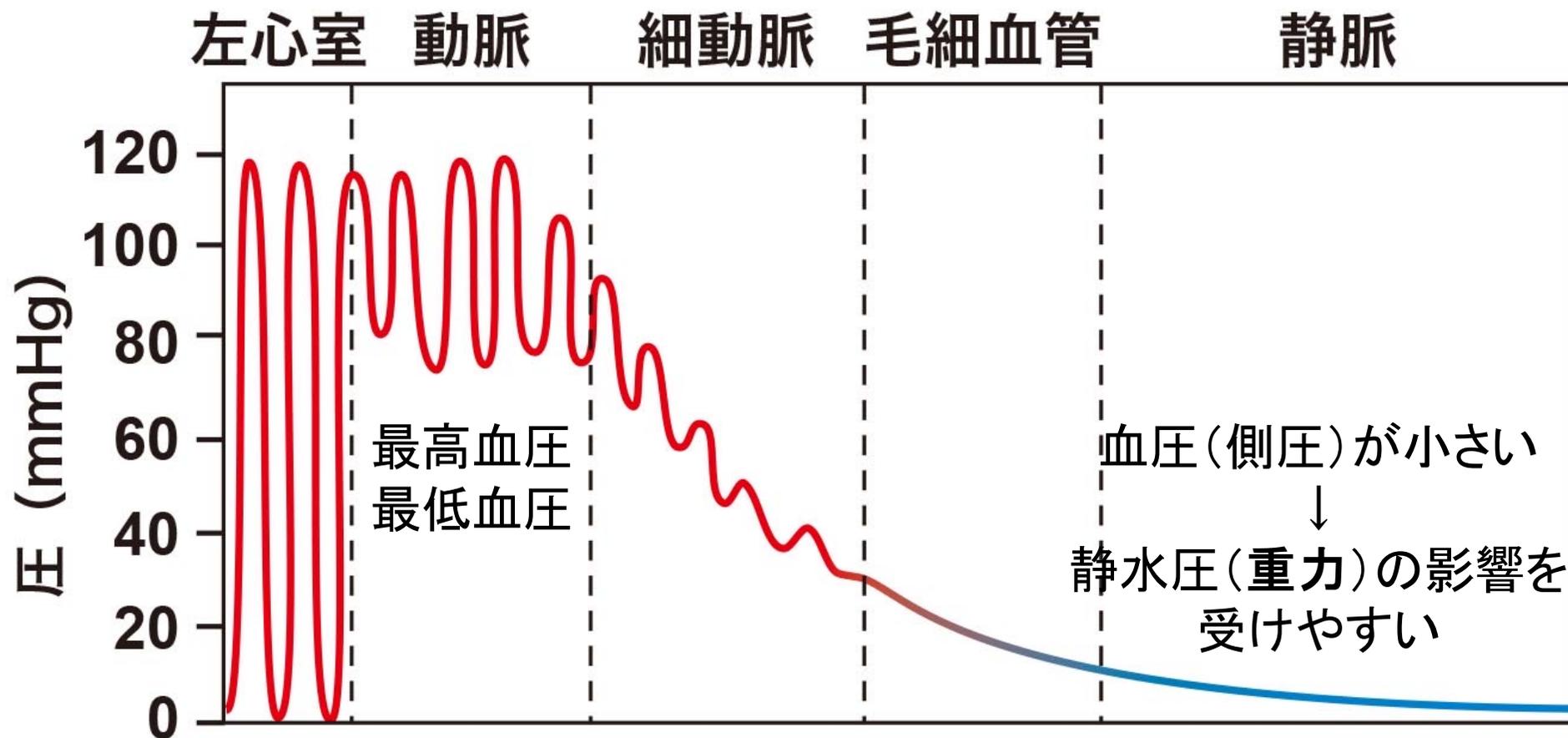
宇宙環境における人体リスク



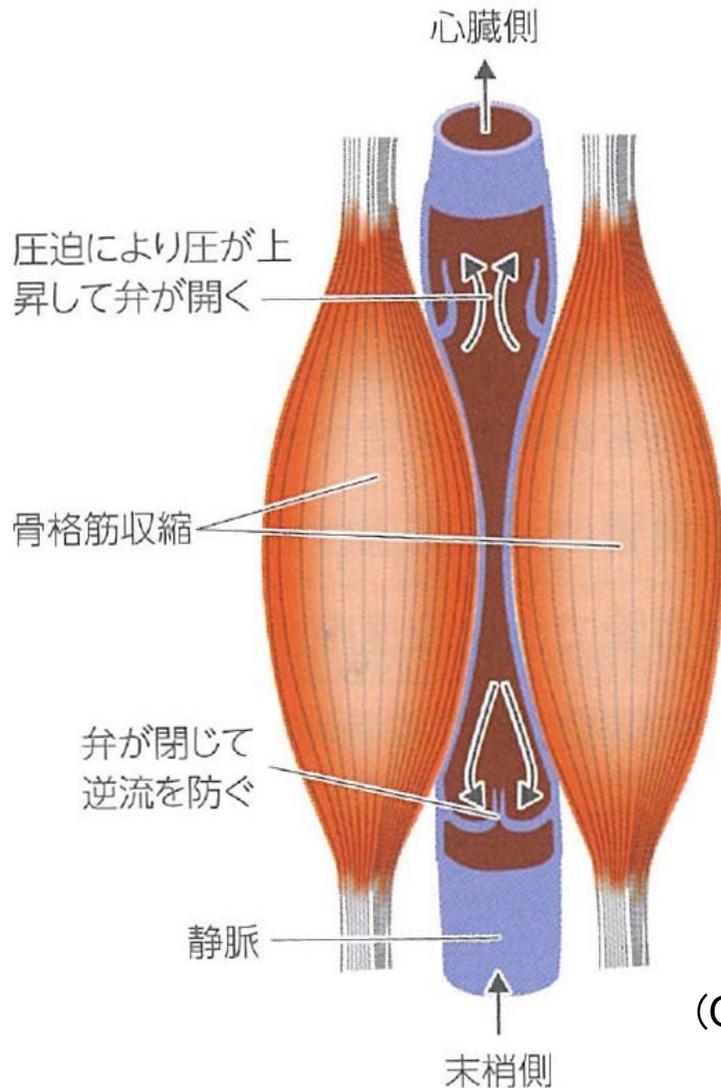
体液シフトと循環①



復習：各部位の血圧（体循環）



復習：逆流防止弁と筋ポンプ作用



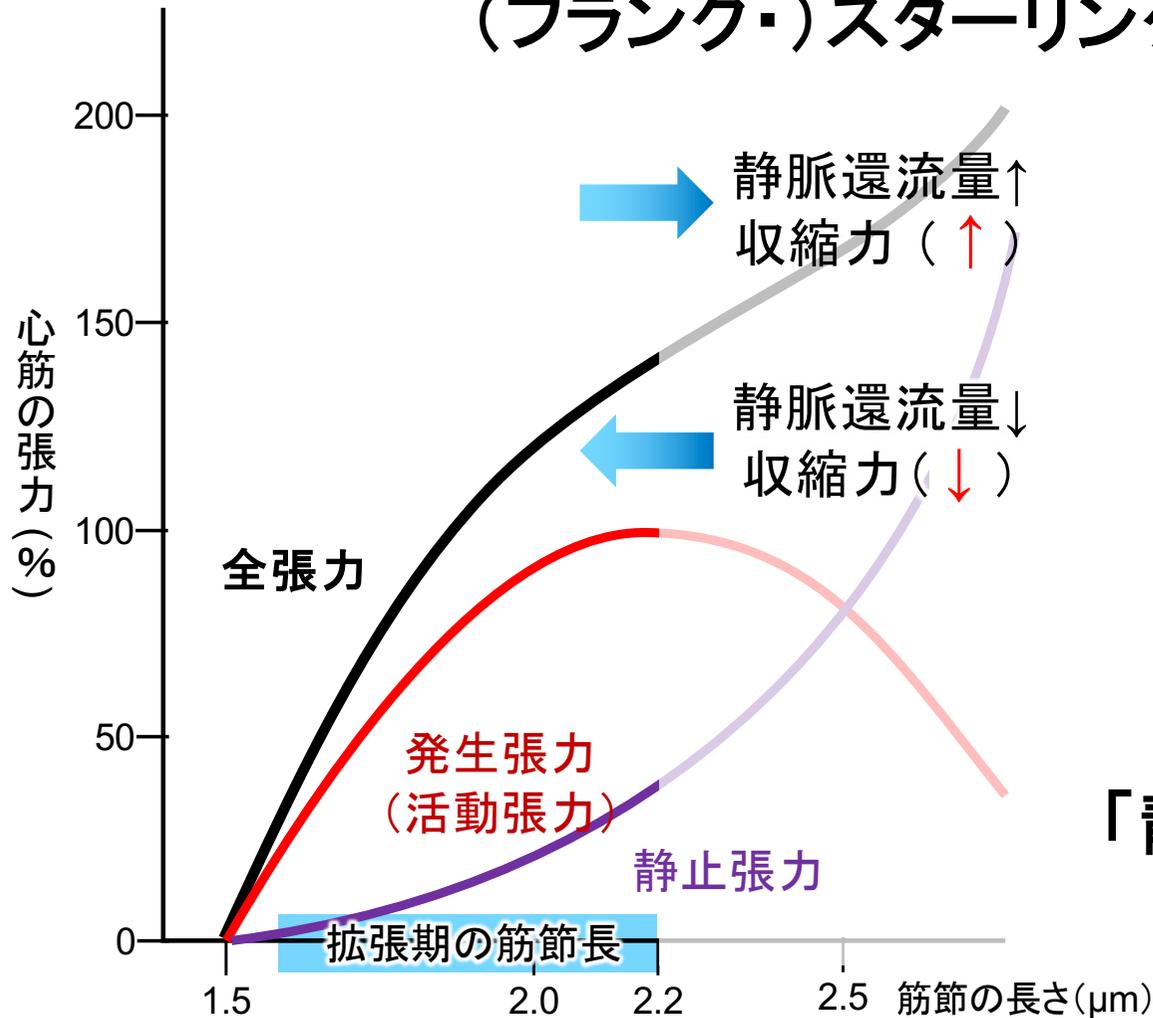
- ・重力に逆らって静脈血を心臓に還流させる駆動力の一つ
- ・周囲の筋肉を収縮させることにより、静脈周囲の組織圧を上昇させて静脈内の血流を心臓に向けて流す
- ・周囲の動脈による拍動も静脈還流の駆動力となりうる

(例：バッキンガム宮殿の近衛兵の足踏み運動)

(QUICK生理学・解剖学(羊土社))

復習：心筋の長さー張力関係ー

(フランク・)スターリングの心臓の法則



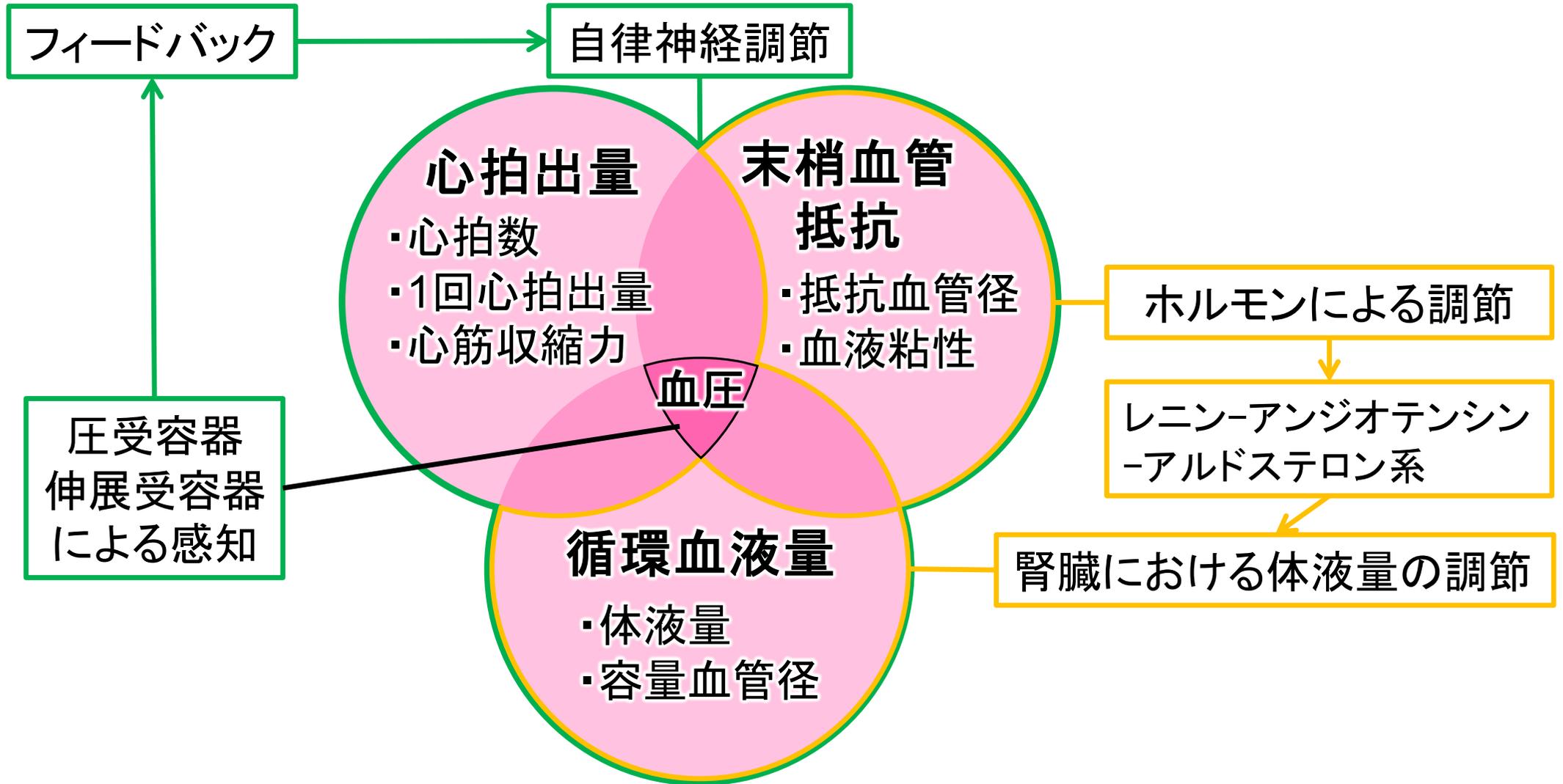
「心筋の収縮エネルギー(仕事)は心筋線維の初期長に比例する」

→最終弛緩時の心筋長に比例して次の心筋収縮能が変化する

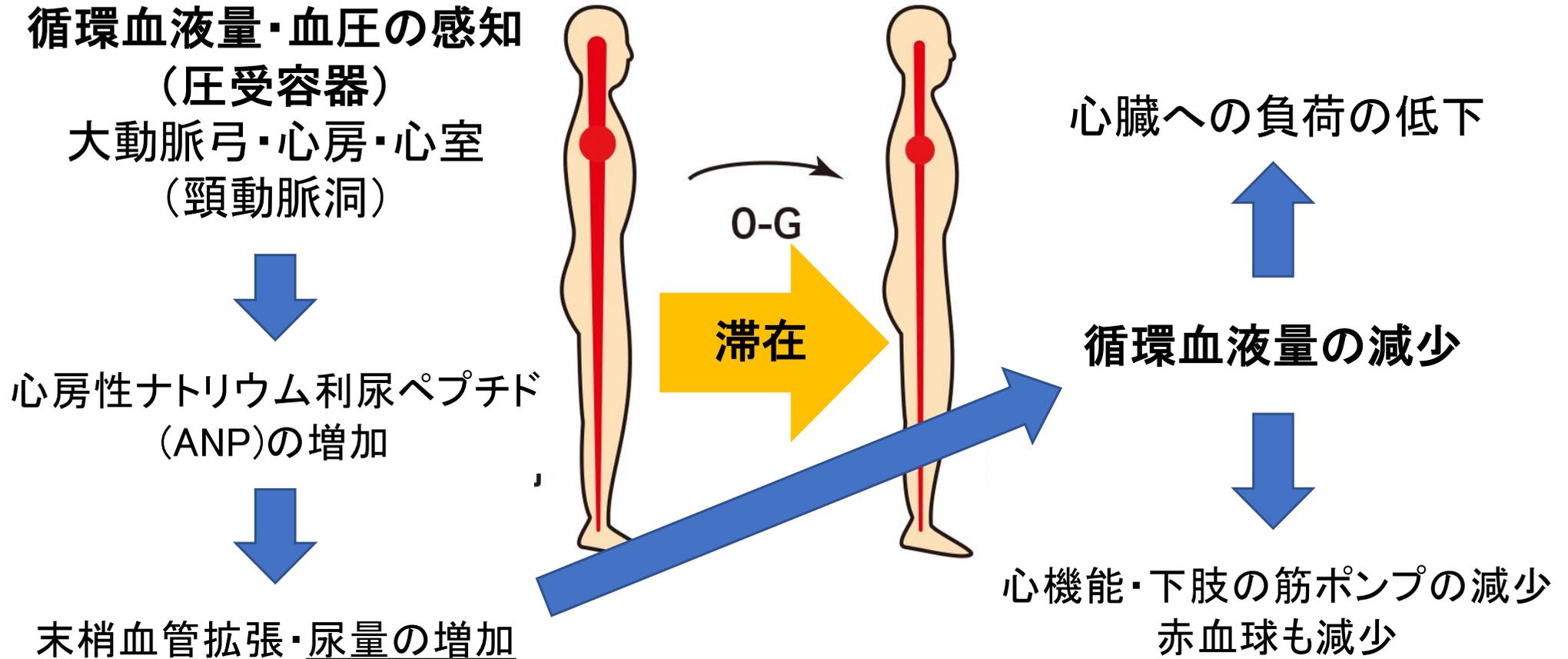
=心筋が伸展するほど収縮力を増す(ただし一定限度まで)

「静脈還流量」=1回心拍出量

復習：血圧を規定する因子



体液シフトと循環②



微小重力環境での筋量と骨密度の減少

重力に抗う必要がない

抗重力筋: 姿勢保持に重要

↓
廃用性萎縮

脊柱起立筋

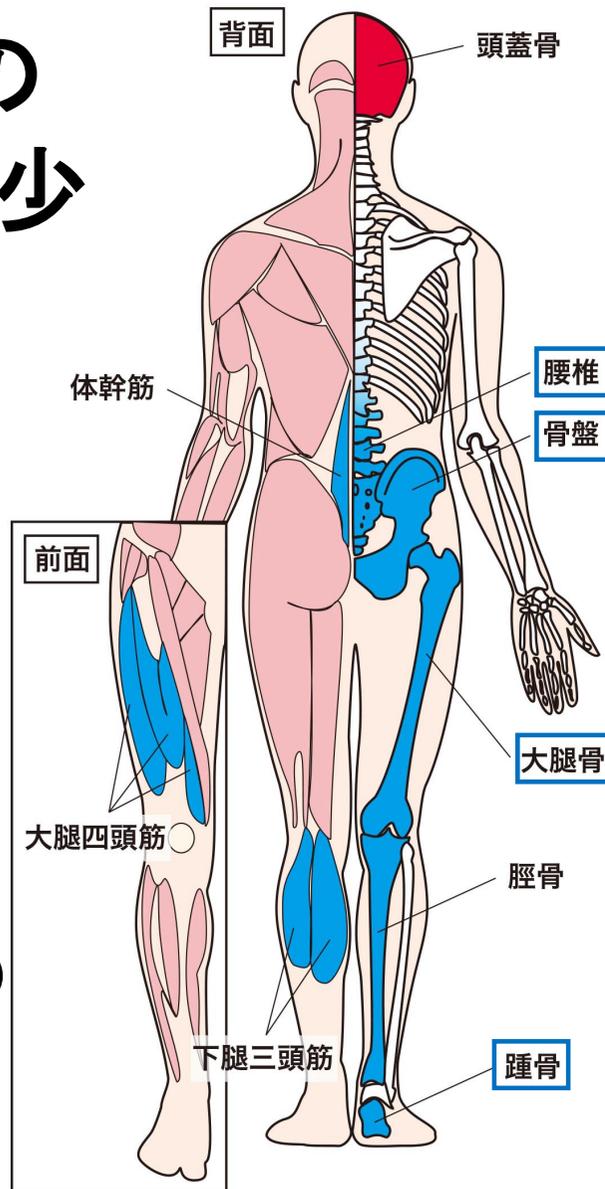
(棘筋・最長筋・腸助筋)

ハムストリング

(大腿二頭筋・半腱様筋・半膜様筋)

下腿三頭筋

(腓腹筋・ヒラメ筋)



抗重力筋・機械刺激の減少

↓
体重を支える骨の
骨吸収の増加
= 骨密度減少
(1.2-1.5%/月)

↓
骨粗鬆症のリスク

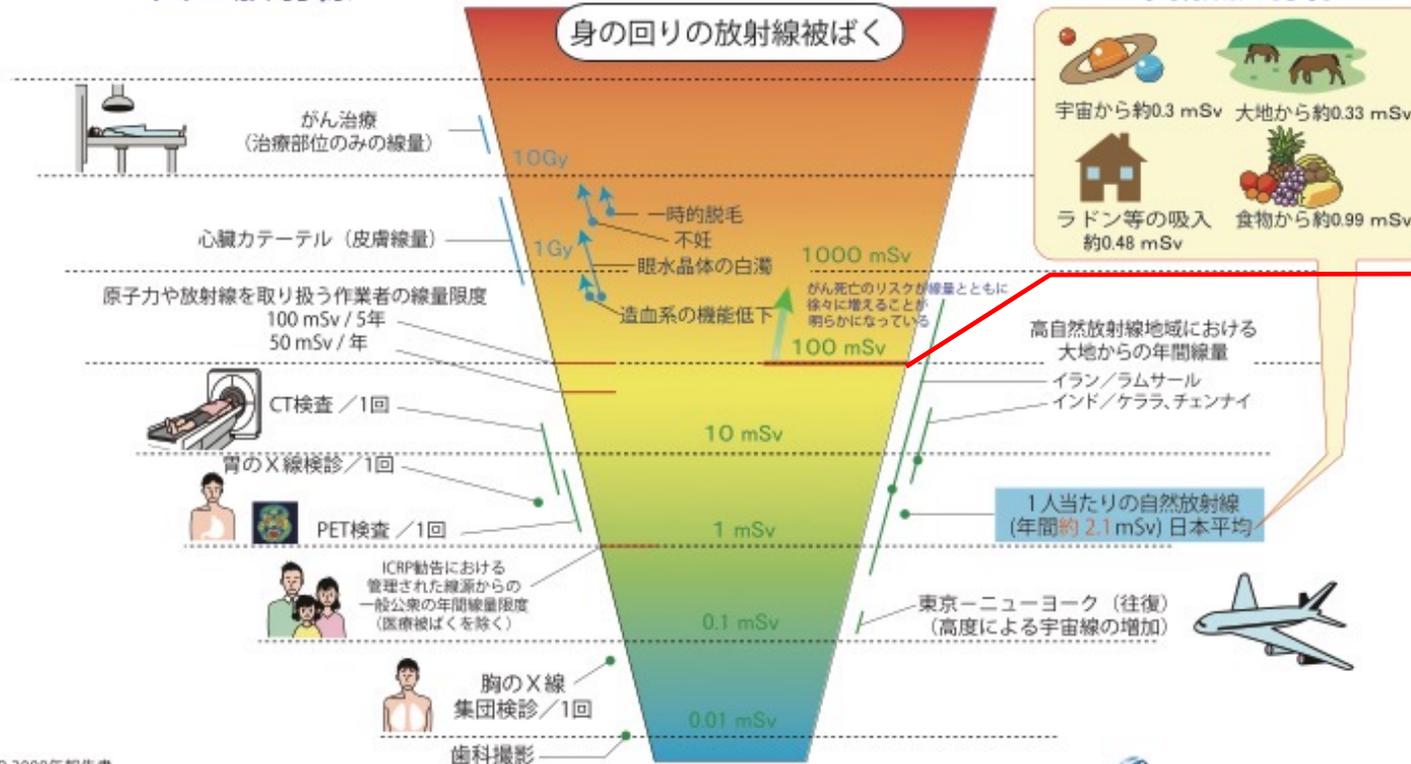
* 高齢女性は0.2%/年

↓
**カルシウムの
尿中排泄量増加
→ 尿路結石リスク**

宇宙環境における放射線被ばく

人工放射線

自然放射線



ISS半年滞在
約100 mSv/回
(0.4~1 mSv/日)

・ UNSCEAR 2008年報告書
・ ICRP 2007年勧告
・ 日本放射線技術師会医療被ばくガイドライン
・ 新版 生活環境放射線 (国民線量の算定)
などにより、放医研が作成 (2018年5月)

- 【ご注意】
- 1) 数値は有効数字などを考慮した概数です。
 - 2) 目盛 (点線) は対数表示になっています。目盛がひとつ上がる度に10倍となります。
 - 3) この図は、引用している情報が更新された場合変更される場合があります。

【線量の単位】
各臓器・組織における吸収線量: Gy (グレイ)
放射線から臓器・組織の各部位において単位重量あたりにどれくらいのエネルギーを受けたのかを表す物理的な量。
実効線量: mSv (ミリシーベルト)
臓器・組織の各部位で受けた線量を、がんや遺伝的影響の感受性について重み付けをして全身で足し合わせた量で、放射線防護に用いる線量。
各部位に均等に、ガンマ線 1 Gy の吸収線量を全身に受けた場合、実効線量で1000 mSvに相当する。

QST 国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
放射線医学研究所
<http://www.qst.go.jp>

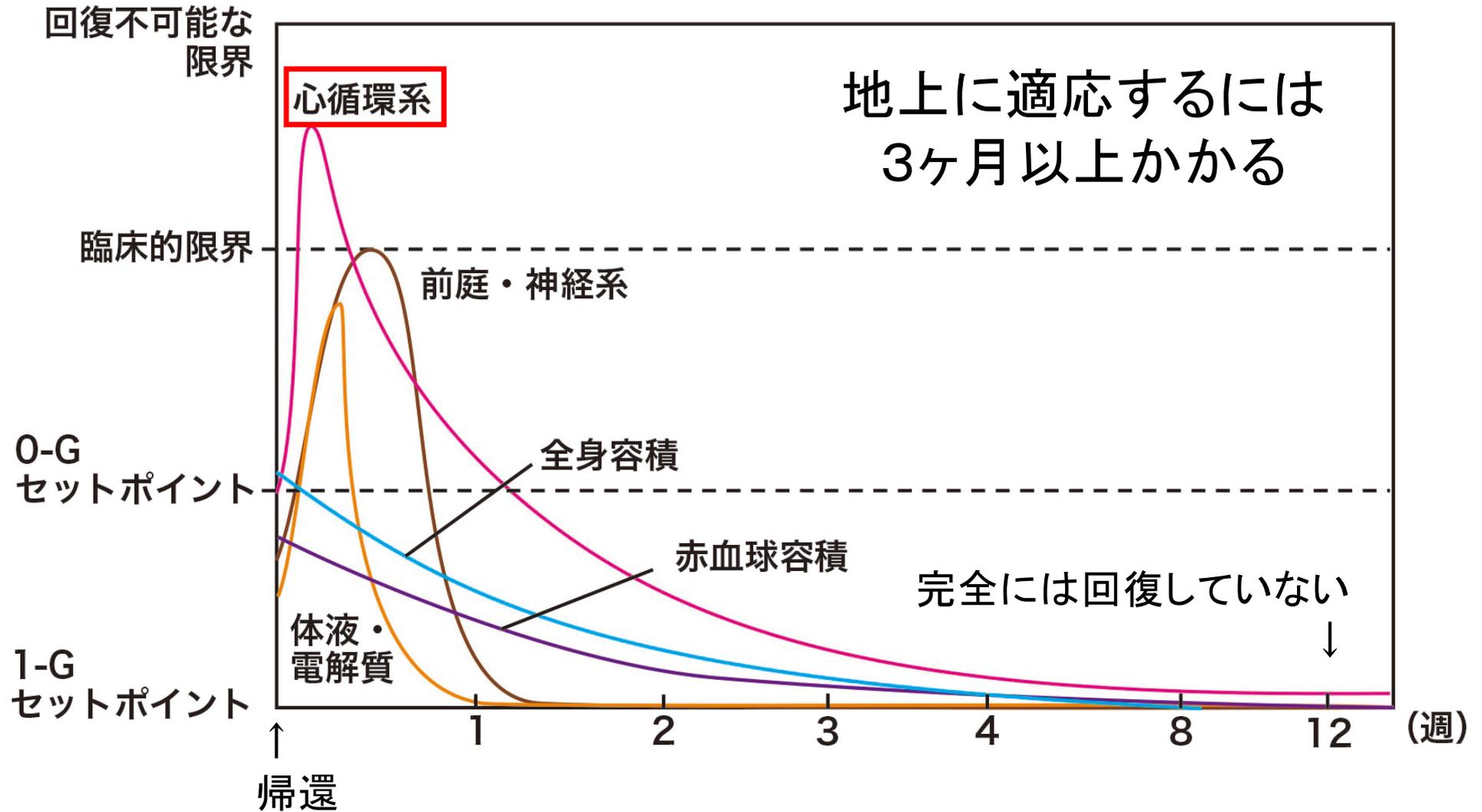
NIRS
Ver 210506

**宇宙環境への長期滞在
(1.5ヶ月程度)で
体は地球上から宇宙環境に適応**

**宇宙環境に適応した体で
地上に戻ったら？**

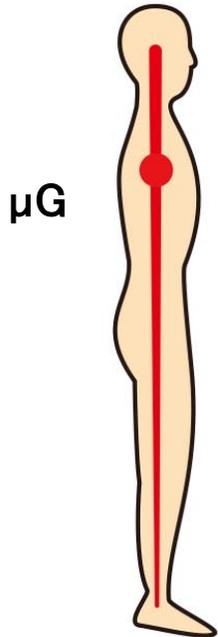


地上への適応(回復)は時間がかかる

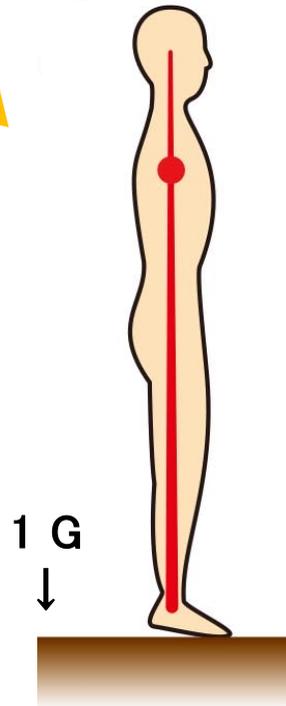


体液シフトと循環③

③ 0-G 滞在中



④ 帰還直後



重力が生じる

→血液の分布は下肢側に偏る

循環血液量が少ない

筋ポンプの機能低下

→下肢側からの静脈還流量の低下



脳への血液還流量が減少

起立性低血圧

Orthostatic Hypotension

宇宙環境適応は急速な加齢現象？

起立性低血圧

免疫、心肺機能の低下

骨量減少（高齢女性の10倍の速度）

筋肉の衰え（10～15%）

放射線被曝の影響

特殊環境での体に生じる変化を理解することで
私たちがいかに地球上の環境に適応していたかを理解できる