

医工学デザイン開発の原動力・人間工学

国立大学法人千葉大学デザイン・リサーチ・インスティテュート

下村 義弘

Yoshihiro SHIMOMURA



1. システムズアプローチ

医療は安全でなければならないが、それを脅かすリスクが人間には数多く内在する。例えば、作業にまつわる疲労、負担、つまらなさ、使いにくさ、わかりにくさ、である。ロボット支援手術を例にとると、執刀医が疲労した場合に制御性は変わらないのか、負担が大きい場合やつまらない場合に集中力やモチベーションへの影響はないのか、機器が使いにくくわかりにくいことは要件通りのトレーニングに任せればすむことなのか、などの課題が見えてくる。

このように、人間とそれを取り巻く機器や運用方法、組織などの一切を機能体(システム)として考え、人間の側から課題を設定して最適設計を導くことを、「システムズアプローチ」と呼ぶ。人間工学はこの方法によって、人間を中心とするシステムのパフォーマンスとウェルビーイングを保持・向上する実践科学である。医学の他の領域と同じように、最終的なエンドポイントは人々の健康だが、そこに至るまでのアプローチとプロセスに特徴があるといえる。

ヒューマンエラーもまた、人間と環境のシステムとして考えなければならない。仮に、やかんで水を注ぐ行動を考えたとき、相手が洗面器ならこぼすことはないが、試験管なら半分以上がこぼれてしまう。人間が行う動作が同じでも、環境が違えば、エラーが発生する。逆もまたしかりで、環境が同じでも、人間が疲労や焦りで心身の状態が変われ

ば、エラーが発生する。人間工学ではしばしば、「ヒューマンエラーはインシデントの原因ではない」という。ヒューマンエラーこそが結果であり、インシデントには別の本質的な原因があると考えられる。例えば、多重ノルマで職員が疲労し、そこに偶発的な環境が重なってインシデントが起こったとすると、目を向けるべきなのはその職員の責任ではなく、本質的な原因であるノルマの管理方法とリスクにつながるプロセスである。人間は必ず疲れ、誤りをする。そのため、できるだけ疲労しないように、エラーを起こしにくいように、物や事を設計することが望ましい。この視点を医工学デザインに導入することで、医療従事者にとって使いやすい製品、働きやすい労働環境につながると思われる。

2. 人間工学的なデザインの考え方

人間に合わせて何らかの設計を行うとき、人間の生理、心理、形態学的特性を基礎として、それらを応用する方法をとる。ここでは人間工学的な製品などのデザインに関わるヒントや考え方の例を紹介する。

1) 視覚

医工学の製品において、視機能に頼った装置は多い。また、眼に入る光の質は本人が意識できない作用を有しており、医療従事者のパフォーマンスや健康にも影響する。情報伝達のための文字や記号については、視距離が遠い、視力が低い、あるいは対象が小さい場合に、輪郭がぼやけてしまい、ひどいときは丸い埃のように見える。そのような場合は、情報の読み損じのリスクを抑制するために、角を強調したり線と線を離したり、特徴部分を強調するなどのデザインを行うとよい¹⁾。ヒトの目は暗順応すると視感度のピークが短波長寄りになる。そのため、暗いところで見つけなければならないものは、青緑の系列色を使う。交通

■ 著者連絡先

国立大学法人千葉大学デザイン・リサーチ・インスティテュート
(〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)
E-mail. shimomura@faculty.chiba-u.jp

標識はその一例である。重量感覚²⁾は色に影響される。軽快な操作性を印象づけたいなら、明るい色や白色にする。これは心理学によるものではなく、物理的に同じ重さでも運動計画が変わることが筋電図の実験で明らかとなっている。光環境をマネジメントすることで、集中度の維持、感覚系や自律神経系の調整、睡眠障害の予防ができる³⁾。2002年に、ヒトの網膜で光感受性網膜神経節細胞 (intrinsically photosensitive retinal ganglion cell, ipRGC) が発見された。この細胞は470 nm近辺の青色のみを感受し、サーカディアンリズムをコントロールしている。この細胞の反応特性が人工照明のデザインに使われ始めている。特に、手術室や療養環境、待合室などで、人工照明の最適化が望まれる。

2) 記憶

医療行為は高度なワーキングメモリを連続的に使う、極めて難易度の高い作業である。そのため、人間工学によって少しでも負担を軽減させることが望ましい。人間の短時間の記憶容量には上限があることが知られている。短期記憶が必要なデザインでは、数字ならば7桁程度までの表示がよい⁴⁾。脳における感覚の処理には、モダリティ間の相互作用がある⁵⁾。例えば、音声刺激を視覚刺激より100 ms遅らせて提示すると、その刺激の短期記憶パフォーマンスが向上する。また情報に意味を持たせ、チャンク (心理的なまとまり) 化すると、見かけの記憶量を増やせる⁶⁾。例えば、1192という11 bitにすぎない数値を覚えられなくても、“いい国作ろう鎌倉幕府”は160 bitあるにもかかわらず覚えられる。人間の記憶システムに合った情報コミュニケーションの方法をとることで、精神的負担を抑えられる。

3) 運動

様々な医療行為は常に、あるときは手先、あるときは全身、あるときは他者とのインタラクションなど、複雑な運動を伴う。エゴセントリック (自分の身体を中心とした座標系) の向きとアロセントリック (他者を含む客観的な座標系) の向きとが一致していると空間認知しやすい⁷⁾。手術におけるナビゲーションや、熟練のスキルを学ぶVR (virtual reality) トレーニングなど、自己と環境との座標系を一致させると負担を抑えることができる。例えば、カーナビゲーションで画面の上向きが進行方向だとわかりやすいように、上下左右の操作向きと視覚的認知の向きを一致させることが重要である⁸⁾。なお、エレベータの扉の開閉ボタンの押し間違いがなくならないのは、扉の動作の向きとボタンの配置が一致していないためである。

GUI (graphical user interface) では、状態と遷移のどちらを表すのかを明確に示すべきである。例えば、そのボタン

は、今ONの状態なのか、あるいは今はOFFで押すとONになるのか。このようなことで医療従事者の手を煩わせることがあってはならない。また筋負担の抑制は、使いやすい製品の実現に不可欠な要素である。筋活動は運動器システムとしての考え⁹⁾に基づくべきで、共収縮や代償運動、主動筋の活動交代などに注目して、“あちらを立てればこちらが立たず”にならないデザインが求められる。さらに、意識に上りにくい負担に気づかせることが重要である。例えば、椅子に座ったときの心身への負担を評価することは、本人にとっても困難である¹⁰⁾。5 kgもある頭部の重さ、骨格系や血管への負荷、自律神経系の日常的な負担は、意識すること自体が困難である。主観的に楽というのは、本当に負担がないならよいが、実際は感覚ゲートシステムによって意識に上っていないだけのことが多い。よって、潜在的に蓄積していく負担に気づかせることが、これからのデザインの重要なポイントになる。

4) ヒューマンエラー

医療安全は至上命題であり、エラーそのものと、プロセスに潜むリスクを抑制しなければならない^{11), 12)}。ある行為の失敗のリスクを抑制するためには、プロセスを多段階にしたり条件を付加したりすることが有効である。例えば、オープンレンジや洗濯機は、扉を閉じなければ運転を開始しない。安全とユーザビリティとを両立させている。多数のスイッチがあるインタフェースでは、機能単位へのアクセシビリティに優先順位をつける。場合によっては、あえて当該スイッチを使いにくくすることが、エラーとエラーリカバリを抑制し、結果として全体のユーザビリティを高めることもある。ある機能のアクティブONとアクティブOFF、つまり事象が起こったときにそれがONになるのか、OFFになるのかというのは、フェイルセーフ上、重要なポイントである。例えばロボット鉗子は、電源がOFFのときにブレーキがONになることでアームの脱落を防がなければならない。さらに、エラーの予防には操作実感、すなわち感覚フィードバックが重要である。例えば自分の手足は、自己の運動出力に対してわずかな時間遅れだけで感覚入力があるために、身体所有感覚がある。体外のシステムも同じで、適切なフィードバックがあれば、そのシステムを自分と一体化させることができる。また、製品やサービスの利用にあたっての短期記憶と長期記憶の参照は、最低限に抑えるべきである。脳のリソースをそれらに割くことは、本当に注意すべきことへのリソースを奪うことになる。

そして、医工学デザインをよりよくするもう1つのヒントは、無意識下の運動にある。ついやってしまうこと、ついやらないこと、という行動は自動化されている。自動的

な行動で自動的にエラーが起りにくくなっていれば、負担を増やすことなくヒューマンエラーを一層予防できる。同時に、「安全だろう」という思い込みは危険予測の動機を奪うため、無意識に注意を向けられるようにする仕組みも重要である。最後に、組織としてのリスク管理に、本稿で述べたような人間の特性を適用できれば、さらによい。

3. まとめ

人間の特性をよく知り、機器や運用方法、組織などを含むシステムズアプローチをとることは、医療従事者にとって使いやすい製品や働きやすい労働環境の創出につながる。人間工学が医療従事者のウェルビーイングの向上と、最終的には患者のウェルビーイングの向上につながることを願う。

本稿の著者には規定されたCOIはない。

文 献

- 1) Arditi A: Adjustable typography: an approach to enhancing low vision text accessibility. *Ergonomics* **47**: 469-82, 2004
- 2) Jones LA: Perception of force and weight: theory and research. *Psychol Bull* **100**: 29-42, 1986

- 3) Katsuura T, Lee S: A review of the studies on nonvisual lighting effects in the field of physiological anthropology. *J Physiol Anthropol* **38**: 2, 2019
- 4) Lisman JE, Idiart MA: Storage of 7 ± 2 short-term memories in oscillatory subcycles. *Science* **267**: 1512-5, 1995
- 5) Marks LE: On cross-modal similarity: auditory-visual interactions in speeded discrimination. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* **13**: 384-94, 1987
- 6) Baars BJ, Franklin S: How conscious experience and working memory interact. *Trends Cogn Sci* **7**: 166-72, 2003
- 7) Kunishige M, Miyaguchi H, Fukuda H, et al: Spatial navigation ability is associated with the assessment of smoothness of driving during changing lanes in older drivers. *J Physiol Anthropol* **39**: 25, 2020
- 8) Courtney AJ: Control-display stereotypes for multicultural user systems. *IEEE trans Syst Man Cybern* **22**: 681-7, 1992
- 9) Heald JB, Franklin DW, Wolpert DM: Increasing muscle co-contraction speeds up internal model acquisition during dynamic motor learning. *Sci Rep* **8**: 16355, 2018
- 10) Antle DM, Vézina N, Côté JN: Comparing standing posture and use of a sit-stand stool: Analysis of vascular, muscular and discomfort outcomes during simulated industrial work. *Int J Ind Ergon* **45**: 98-106, 2015
- 11) Reason J: Human error: models and management. *BMJ* **320**: 768-70, 2000
- 12) Reason J: Understanding adverse events: human factors. *Qual Health Care* **4**: 80-9, 1995