

(タイトル)

経穴取穴に関する解剖学的構造(骨・筋)の可視化及び3Dモデルの製作と教育的効果(第1報)

—膝・下腿部と足部のMRI画像による3Dデータの作成と3Dプリンタによる出力—

Visualization and 3D modeling of anatomical structures relating to acupuncture points, and the educational effects (1<sup>st</sup> report)—Generation of 3D data and 3D printing by using sectional images of human knee, lower leg, and foot on Magnetic Resonance Imaging (MRI) apparatus—

(著者) 小川 一 Hajime Ogawa

(所属1) 日本鍼灸理療専門学校

(所在地) 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町 20-1 tel.03-3461-4787

The Japan School of Acupuncture, Moxibustion and Physiotherapy  
20-1, Sakuragaokacho, Shibuya-ku, Tokyo, 150-0031, Japan

(所属2) (一財) 東洋医学研究所

(所在地) 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町 28-9 tel.03-3476-1581

The Research Institute of Oriental Medicine  
28-9, Sakuragaokacho, Shibuya-ku, Tokyo, 150-0031, Japan

(共著者) 土井 章男 Akio Doi

(所属) 岩手県立大学ソフトウェア情報学部

(所在地) 〒020-0611 岩手県滝沢市菓子 152-52

Tel: +81-19-694-2550 Fax: +81-19-694-2501

Iwate Prefectural University

Sugo152-52, Takizawa-shi, Iwate, 020-0611, Japan

経穴取穴に関する解剖学的構造（骨・筋）の可視化及び3Dモデルの製作と教育的効果  
（第1報）

－ 膝・下腿部と足部のMRI画像による3Dデータの作成と3Dプリンタによる出力 －

（キーワード） 経穴、3D認知モデル、可視化、MRI画像、解剖学的構造

（key word） acupuncture points, the 3D cognitive model, visualization, magnetic resonance imaging, anatomical structures

（要旨）

（目的）

身体の反応点として捉えられている経穴を皮膚表面上の位置として知るだけでなく、経穴の内部にみられる筋・腱や骨などの解剖学的な構造と比較して認識することは大変に重要となる。しかしながら、実際に即してそれぞれの構造を同時かつ立体的に確認できる教材はこれまでなく、そこで、骨や筋・腱といった内部構造と、内部構造を参照して表面上に配置した経穴を同時に認識できる3D認知モデルを製造し教材としての教育効果を検討した。

（方法）

3D認知モデルを実際に即して製造するため、MRI装置により人の膝部、下腿部および足部の断層画像を撮像した。次にMRI画像上で骨や筋・腱を基準として経穴をマッピングし、骨や筋・腱と経穴を抽出（セグメンテーション）し3Dデータ化した。ソフトウェアはOsiriXおよびZbrushを使用した。3DデータはSTLファイル形式で出力し、透過可能な素材を使用できる3Dプリンタにより製造を行った。また、学生にモデルを使用させ、人体上での取穴部位の認識に関する効果についてアンケート調査を行った。

（結果）

実物大でMRI画像に即した骨や筋・腱と表面に経穴を配置した3D認知モデルの製造が、ソフトウェアや3Dプリンタの発展により行うことができた。また、3D認知モデルは内部を透過したことで、経穴の深部にある骨や筋・腱を可視化できた。さらに、アンケート調査より、モデル使用により実際の人体の骨や筋・腱に対する取穴の理解度を高める可能性が示唆された。

（結語）

3D認知モデルによる経穴の深部の可視化は、3D認知モデルを使用することで経穴取穴と骨や筋・腱の関連を知ることや、経穴刺鍼時の方向・深さなどの認識を得ることを可能とした。また3D認知モデルが、経穴を配置した表面を触察しながら内部の視認が可能な体感型の教材としての効果が示唆された。

## I. 緒言

古来より身体の反応点として認識された腧穴（ツボ）の多くは骨間、筋間の陥凹部にあり、内部の骨や筋の位置の理解は重要となる<sup>1)</sup>。東洋医学の原典とされる黄帝内経素問の水熱穴論篇では、腧穴（ツボ）の局所的な治療効果による分類もされ<sup>2)</sup>、やがて経絡を整える刺激点として、前漢から後漢の時代には「明堂孔穴鍼灸治要」「黄帝内経明堂類成」などの経穴の書としてまとめられていく<sup>3)</sup>。しかし「九鍼」における鍼の種類や「十二刺」の刺法からも<sup>4)</sup>、腧穴（ツボ）の取穴部位を皮膚面上の位置としてだけでなく深部構造との関係を認識することは不可欠であったと考える。

近年、取穴部位の名称は解剖学的用語に置き換えられ、WHOにおいて世界的に標準化された<sup>5)</sup>。つまり経穴と解剖学的な内部構造の関係の認識は重要性を増しており、特に初学者の学習に対する必要性から、私たちは平成 25 年度東洋療法学校協会学会誌にて、皮膚面から骨以外の構造を透過させた前腕・手の透過型経穴・立体解剖認知モデル（以下、経穴 3D 認知モデルあるいはモデル）を実物大で製造し、骨度法に基づく経穴と骨の立体的関係の可視化と、モデル表面の触覚情報と深部構造の視覚情報を同時に得る体感可能なモデルの可能性を報告した<sup>6)</sup>。

今回は膝・下腿・足部の、骨および筋・腱を可視化した経穴 3D 認知モデルの製造を行った。さらにモデルにより、深部にみられる骨及び筋や腱との位置関係と取穴部位の認識を高めることで、実際の取穴時に、内部構造の認識が高まる教材となるかの教育効果も検討した。

## II. 方法

### 概要:

実物に即したモデルの製造を行うため、生体の下肢の MRI 画像を撮像し (Fig.1)、スライス画像上で取穴の定義に従って解剖学的内部構造の一致する部位に経穴の配置 (以下、マッピング) を行い、その経穴とともに骨・筋・皮膚面をスライス画像から抽出し 3D データ化 (以下、セグメンテーション) した (Fig.2)。その後モデリングソフトにより統合・調整と下腿中部で切り離しを行い STL ファイルで出力 (Fig.3)、3D プリンタにより実寸大で造形することとした<sup>7)</sup>。また、経穴 3D 認知モデルを使用した経穴取穴の教育効果に関しては学生にモデルを使用させてアンケート調査を行った。

### MRI 撮像:

MRI 画像の撮像は、東芝製 FLEXART MRT-50GP (0.5T) を使用。対象は、撮像およびモデル製造の同意を得た 32 歳女性、身長 155cm、体重 51Kg。部位は、手・前腕と同様に、要穴が集中する下肢の下腿部と足部としたが、MRI 画像の撮像範囲の制限から、右下腿上部 (膝関節部を含む)・下部 (足関節部を含む) と右足部に分けて撮像を行った。肢位は仰臥位で膝関節は伸展、足関節および各指関節は、位置を継続できる安定した肢位とし、大腿部と足関節部を軽く固定した。なお、下腿三頭筋部は、大腿部の下と踵の

下に枕を当て床面との接触で潰れて圧迫されない状態をとった。MRI 画像から取穴位置の基準を定めるため、膝の内・外側の関節裂隙部、内果尖と外果尖部、膝から内果尖と外果尖の間で前脛骨筋・長指伸筋間と、長腓骨筋の前縁、脛骨内側縁、腓腹筋内側頭の前縁及び、足の経穴に関わる関節周囲の陥凹部や腱・骨の隆起・肌目に対しマーカー（2mm 四方にカットされたナッツ）を貼った。撮像方法は、東洋医学研究所附属クリニックの放射線科長と検討し、撮像結果の中で筋の境界が明瞭であった FE・T1 強調とし、スライス間隔は装置で行える最小単位の 2mm とした。

#### 経穴の配置:

経穴の配置は足の正経で膝関節裂隙部より下位にあるすべての経穴(陽経 37 穴、陰経 27 穴、計 64 穴)に対して WHO で決定した標準部位に従った<sup>8,9)</sup>。経穴は、基準となるスライス画像から定めた寸法の枚数にあるスライス画像に、筋や腱、骨を参照して円形のマークに置換しマッピングした。

下腿の長軸方向の基準は、下腿では前述のマーカーの位置と MRI 画像から構成される矢状面・前頭面の画像を参照し (Fig.1)、上部は膝関節裂隙部、下部は外果尖・内果尖に対応するスライス画像上に定めた。下腿上部と下部をマーカー位で結合すると、上記基準間に下腿外側 (陽経側) で 165 枚=330mm、内側 (陰経側) で 155 枚=310mm の画像がある。骨度法では、膝窩から外果尖は 1 尺 6 寸、膝蓋骨尖から内果尖は 1 尺 5 寸と規定され、そのため下腿外側では 1 寸=10.3 枚 (20.6mm)、内側では 1 寸=10.3 枚 (20.7mm) となり、足の陽経では 20.6mm、陰経では 20.7mm が長軸方向の 1 寸となった。

下腿の短軸方向においてはスライス画像から皮膚面に接する内部の筋や腱、骨の配列を判別し基準とした。Fig.2 は膝関節裂隙部から 83 枚目のスライス画像で、条口穴 (ST38) や豊隆穴 (ST40)、承山穴 (BL57) を円形にマッピングしている様子を示した。方形で示されているマーカーと、前脛骨筋・長指伸筋および下腿三頭筋を参照して経穴が配置されているのがわかる。

足部では MRI 撮像前に対象を触察して貼られたマーカーと、スライス画像の骨や筋・腱の陰影を参照し経穴をマッピングした。

#### 3D データ化:

2D のスライス画像の 3D データ化に際しては、画像解析ソフトの「OsiriX (オザイリクス)」を使用して骨・筋・皮膚面および経穴のセグメンテーションをして 3D 化を行い、モデリングソフトである「Zbrush (ジープラシ)」を使用して 3D データの補正を行った。

まず、DICOM 形式で出力した MRI 画像を OsiriX に取得、マッピングを行った経穴

と、陰影が写されている皮膚面や骨・筋・腱の外周を、OsiriXのポリゴンブラシ機能を利用して関心領域としてスライス画像上に設定し<sup>10-13)</sup>、セグメンテーションを行った。解剖学的構造の対象は、皮膚面と、骨では大腿骨の下部・膝蓋骨・脛骨・腓骨およびすべての足根骨・中足骨・指骨である。また筋・腱や靭帯では、経穴取穴の際に確認が必要となる縫工筋・薄筋・半膜様筋・半腱様筋・大腿二頭筋・外側側副靭帯・内側側副靭帯の下部と膝窩筋・前脛骨筋・長指伸筋・長母指伸筋・長腓骨筋・短腓骨筋・下腿三頭筋・後脛骨筋・長指屈筋・長母指屈筋とした。下腿から足部に伸びる腱については画像上で認識できる範囲となった。Fig.2は前述の経穴のマッピングとともに、骨や筋の関心領域の設定を示している。関心領域の設定は各構造別に、すべての画像でOsiriXのセグメンテーション機能を用い3Dデータ(ポリゴン)化し、OBJ形式で出力した<sup>14)</sup>。

下腿上部・下部と足部で出力された各構造のポリゴンデータをZbrushに取得、下腿中央、足関節周囲のマーカールの位置、下腿の骨と足根骨の形状を合わせ結合した。経穴のデータは球体(直径2.5mm)に置換し、各グループはボリュームを変えずにそれぞれ平滑化を行った(ポリゴン数1.522million)<sup>15)</sup>。経穴・皮膚・骨・筋腱の統合された3Dデータは、筋の配列や横断面を確認しやすくするために経穴に影響しない中間部で再び切断して上部と下部に分け、STLファイルで出力した(Fig.3)。

### 3Dプリンタによる造形:

3D造形は、マルチマテリアル・マルチカラーによる造形が可能な3Dプリンタを所有している(株)ファソテックのメディカルエンジニアリングセンターに依頼した。出力プリンタはObjet500 connex3 (Stratasys Japan Co.,Ltd)とした。材料は、骨は白色で、筋はマジエンダ色とクリア色の混合、皮膚を含めたそれ以外はクリア色のアクリル系樹脂を使用した。積層方法はインクジェット方式、積層厚は0.03mm、積層数は3925スライスとなり、造形時間は50時間14分であった。今回の造形では、下腿中間部で上部と下部に分けて切断したが、上部の筋30mmをはめ込み式とした。造形されたモデルは、さらにサポート材の水流による除去と表面の磨きが行われた。取穴部位の球体と接触する皮膚面のデータを半球体に凹ませ経穴とした。

### 経穴3D認知モデルの使用による学習効果の調査:

学生に対するアンケート調査は、対象は経穴の取穴が初めての専門学校1年の学生5名とした。最初はモデルを使用せずに、教科書や一般的な骨・筋・経穴の模型を使い解剖学的用語と取穴法を確認した上で実際に人の皮膚上から足三里穴(ST36)、曲泉穴(LR8)、丘墟穴(GB40)の取穴を行い、当校研究グループで作成した取穴の理解度を数値化した経穴認知スケール(4段階)に記載させた。その後、モデルを十分に触らせてから再び人で取穴を行いその結果と比較した。作成した経穴認知スケールは、経穴に関連した骨・筋・腱を人体で触知しながら、その位置に基づき取穴を正確に確認できたかを「取穴の正確性」とし、また、経穴と骨・筋・腱の関係で取穴を理解できたかを「取穴の理解度」とした。スケールは、「取穴の正確性」では「全く確認できなかった」を1、

「あまり確認できなかった」を2、「概ね確認できた」を3、「正確に確認できた」を4とし、また「取穴の理解度」では「全く理解できなかった」を1、「あまり理解できなかった」を2、「理解できた」を3、「よく理解できた」を4とした。

### Ⅲ. 結果

実寸大で右側下肢（膝部・下腿部・足部）の骨や筋・腱が透過された経穴3D認知モデルを造形できた（Fig.4）。寸法は、上部は全高206mm、奥行147mm、横幅137mm、重さ2.4kg、下部は全高335mm、奥行201mm、横幅103mm、重さ1.6kg、全体では全高541mm、奥行206mm、横幅137mm、重さ4.0kgであった。経穴3D認知モデルでは、経穴の取穴部位に作られた半球体の穴の視認および触知が可能であった。また、経穴に影響しない中間部で上下に切断、上部の筋が30mm露出されたことで、筋の配列を横断面にて確認できた。モデルは皮膚面から筋・腱を通して骨までが透過されたため、皮膚面に配置された経穴の深部に筋・腱・骨が可視化され立体的に再現された。ただし視覚的に筋のボリューム感は得られにくかった。

次に今回製造された経穴3D認知モデルが、実際に即した認識が行えるかを検討するため、対象の下腿および足と経穴3D認知モデルを視覚・触覚的に比較した（Fig.5）。経穴3D認知モデルの表面の凹凸は、視覚的に対象のMRI画像から作成した3Dデータに即した造形となっており、対象と同等の凹凸面を触知できた。表面を触れた際に弾力感は得られなかったが、動的な触察では滑らかな凹凸感を得られた。

さらに表面の経穴と内部構造の関係の認識を、経穴3D認知モデルと経穴人形や筋・骨模型を比較すると、モデルでは、経穴や表面の凹凸に対応し骨の形状や骨・筋の間隙や隆起を多方向から立体的に視認可能となった。また、モデル表面の凹凸や経穴取穴部位の陥凹部の触知の際に、内部の筋や骨の立体造形の視認が同時に行え、経穴と内部構造の立体的な一致を体感した。

そこで、表面上の凹凸や経穴の凹みに対する内部構造の関係を、視覚情報と触覚情報を加えて認識しやすい例として、膝関節内側部における筋・腱・骨の配置と経穴との関係（Fig.6）、下腿外側部における筋の配置と経穴の配列（経脈の走行）との関係（Fig.7）、足関節外側部における骨や骨の間隙と経穴の関係を拡大写真で示した（Fig.8）。膝関節内側部（Fig.6）では表面上の陰谷穴(KI10)や曲泉穴(LR8)、膝関穴(LR7) また陰陵泉穴(SP9)と縫工筋や薄筋・半腱様筋の腱との関係が多方向から視認され、経穴からの刺鍼の方向の意識化が行えた。また下腿外側部（Fig.7）では、陽交穴(GB35)や外丘穴(GB36)、光明穴(GB37)、陽輔穴(GB38)といった胆経の経穴の並びと内部の筋（長指伸筋、短腓骨筋、長腓骨筋）の配列、深部の骨（腓骨）までの深さが立体的に視認された。さらに足関節外側部（Fig.8）では、膀胱経の経穴と、深部に外果下縁や足根骨・中足骨・指骨との関係が視認され、外果下縁と距骨・踵骨の間や第5中足骨表層にみられる凹みを触察すると、申脈穴(BL62)と長・短腓骨筋腱の関係や丘墟穴(GB40)と足関節の陥凹の関係、

金門穴(BL63)・京骨穴(BL64)・束骨穴(BL65)と深部にある第5中足骨との関係の体感が可能であった。

また、学生に対するアンケート調査からは、経穴認知スケール(4段階)の数値の平均は、経穴3D認知モデル使用前は、取穴の正確性は2.6、取穴の理解度は2.8であったが、モデル使用後は取穴の正確性は3.4、取穴の理解度は3.6となり、5名全員に数値の向上が認められた。

#### IV. 考察

素問調経論篇には「取分肉間、無中其経、無傷其絡(その分肉の間を刺して、その邪を散じればよいが、経脈に中てたり、絡脈を傷つけてはならない)」という記載がある<sup>16)</sup>。経脈との関連で経穴となった腧穴(ツボ)であるが<sup>17)</sup>、調経論篇の記載からも筋の形や配置の認識をもって刺鍼をしていたことは十分に認められる。しかし鍼灸の学習者にとり、教科書に記載されている見えない内部の立体的な解剖学的構造を認識しながら経穴の取穴を行うことは難しく、さらに、見えない深部に鍼を刺入することの不安は大きい。これまでは技術的な問題で、取穴の学習には教科書、経穴人形、骨・筋の個別の模型を別々に利用するのみで、実際に即して経穴の内部を立体的に可視化した教材はなく、内部のイメージを持たずに取穴や刺鍼の経験を積み重ねていた。そこで平成25年度の東洋療法学校協会学会誌では、まず骨度法にて特に重要となる経穴と骨との関連を知るために、前腕と手における、経穴のある皮膚面から骨が可視化された経穴3D認知モデルの製造を報告し、今回は、さらに取穴時における筋や腱の重要性から、経穴と皮膚面の凹凸に対する骨および筋・腱との関係を示す経穴3D認知モデルの製作を試み、その教育効果の検討も行った。

経穴3D認知モデルの造形を実際に則するため、MRIで撮像された人体の画像から3Dデータを作成した。MRIで撮像される2Dのスライス画像からの3Dデータの作成にはフリーソフトである「OsiriX」を使用した。OsiriXのポリゴンブラシ機能を利用し、マニュアルによる関心領域の設定で各構造別にセグメンテーションを行った。また、リバルサーブラシ機能により陰影の境界に対するマニュアルでの関心領域の設定の自動調整を行い、それぞれの構造を陰影で現すMRI画像からより精緻に抽出し3Dデータ化を可能にした。

ただし、OsiriXで作成された3Dデータは、MRI撮像における2Dのスライス画像の2mm間隔での積み重ねであったため、内部構造の大きさに比して撮像間隔が広い部分は、表面が粗雑な形状となった。また、MRI装置の撮影範囲の制限から、必要な範囲を一度に撮像することができなかったため、分割された3Dデータの統合も必要となった。そこで、モデリングソフトである「Zbrush」により補正と統合を行った。Zbrushは、3DCG用のソフトウェアで、スカulptingと呼ばれる方法により画面上で立体的な造形が可能なソフトウェアであることから、それによりすべての筋・腱・骨と皮

膚の補正と統合が行えた。

3D データを用いての立体造形では、層を重ねて立体構造を造形する装置である3D プリンタを使用した。3D プリンタの造形方法には、材料押出法、光造形法、粉末焼結法、インクジェット方式などがある<sup>18)</sup>。今回の造形で使用した「Objet500 connex3」はインクジェット方式の、マルチマテリアル・マルチカラー出力が可能な3D プリンタで、噴射した樹脂を紫外線で固め積層してモデルを造形するタイプである。積層の間隔が0.03mm なので造形には多くの時間を有するが、精緻なモデル造形が可能となり、内部に透過性の素材を使用したことで、表面から筋や腱を含む骨までの範囲を透過できた。また、3色の色を混ぜ合わせて出力したことで筋・腱を着色し、深部にある骨の色に対する識別を可能とした。

経穴3D 認知モデルの使用に関し学生に行ったアンケートからは、今までの教科書や個別の模型による取穴の理解に加えて、モデルを確認することで内部の筋・腱・骨間との関係が立体的に意識されて、取穴の精度が向上する可能性が示唆された。今後例数を増やし、種々の検討を要するが、学生のコメントでは、人の皮膚面上に触れながら内部構造がイメージできた、などの使用感が得られた。つまり経穴3D 認知モデルは、複雑な表面上の凹凸の触知（触察）において、表面の経穴の凹凸に対して透過された筋・腱・骨の隆起・間隙などの内部が多方向から可視化され、視覚情報と触覚情報の統合的な認識により、能動触、あるいはマルチモーダルな認知を示す教材となる可能性が示唆された<sup>19,20)</sup>。

今後、人体の他の部位や血管や神経など他の構造の経穴3D 認知モデルの製作、刺鍼可能な柔らかい素材の検討も行っている。しかし、現状では今回の精度と大きさの3D プリンタでの出力が数十万円単位のコストがかかること、撮像間隔やMRI の特性からセグメンテーションや立体化が困難な部位があること、筋の透過度の関係で、筋のボリューム感が薄れ深さの認識が不明瞭になったことが課題となった。

## V. 結論

- 1) 膝および下腿部と足部において筋・腱・骨や筋間・骨間などの解剖学的な内部構造を可視化し、表面の取穴部位に経穴を配置した経穴3D 認知モデルを、MRI 画像に即した3D データを基に造形することができた。
- 2) 可視化により、経穴と深部にある筋・腱・骨などの内部構造の立体的関係が視認され、刺鍼時の方向・深さといった認識が可能となった。
- 3) 経穴3D 認知モデルの表面の凹凸および経穴の触察と内部の立体構造の視認により、人体の取穴に対し反映可能な、経穴と立体的な解剖学的構造の関係の理解を深める体感型の教材としての教育効果が示唆された。

## VI. 謝辞



本研究を進めるにあたり、MRI 画像の抽出では東京有明医療大学特任教授の五味敏昭先生、MRI の撮像では東洋医学研究所附属クリニック放射線科の佐々木清三先生、3D プリンタからの出力では(株)ファソテックメディカルエンジニアリングセンター研究開発担当の安楽武志氏の多大なご協力をいただきました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。さらに本研究では、科学技術振興機構の研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)の研究助成を得ました。また、人体の3Dモデル作成の研究開発に、一部、文部科学省科研費基盤C(課題番号:26350541)の研究助成を得ました。ここに謝意を表します。

## VII. 文献

- 1) 山下詢. 臨床経絡経穴図解. 初版. 東京. 医歯薬出版. 1972:2-5.
- 2) 石田秀実. 中国医学思想史. 初版. 東京. 東京大学出版会. 1998:134-59.
- 3) 丸山敏秋. 鍼灸古典入門. 初版. 京都. 思文閣出版. 1987:147-58.
- 4) 南京中医学院編. 現代語訳黄帝内経靈樞上巻. 石田秀実, 白杉悦雄(監訳). 初版. 東京. 東洋学術出版社. 1999:20-24, 146-159.
- 5) 第二次日本経穴委員会. 詳細・経穴部位完全ガイド 古典からWHO標準へ. 初版. 東京. 医歯薬出版. 2009:82-102, 184-85, 200-23, 309-29.
- 6) 中島亮輔, 池田雅俊, 中山千久麿, 加藤美緒, 松村美都里, 小川一. 経穴を立体的に体感するために(3Dプリンタによる「経穴・立体解剖モデル」の製作). 東洋療法学校協会学会誌. 2013;(37):62-66.
- 7) 土井章男. 画像再構成と3Dプリンタによるラピッドプロトタイピング. Medical Imaging Technology. 2012;30(5):303-8.
- 8) 教科書執筆小委員会. 新版 経絡経穴概論. 第2版. 東京. 医道の日本. 2014:8-9.
- 9) 巖振国. カラーアトラス経穴断面解剖図解 下肢編. 川俣順一(監訳). 初版. 東京. 医歯薬出版. 1992:18-29, 36-9, 44-97, 100-11, 175-79, 186-87.
- 10) M. Llusa, A. Meri, D. Runo. 運動器臨床解剖アトラス. 中村耕三(監訳). 初版. 東京. 医学書院. 2013:286-87, 296-303, 313-23, 336-62.
- 11) R. M. H. McMin. 人体解剖カラーアトラス. 佐藤達夫(監訳). 第2版. 東京. 南江堂. 1985:294-328.
- 12) Georges El-Khoury. Sectional anatomy by MRI and CT. 3rd Edition. London. Churchill Livingstone Elsevier. 2008:332-419.
- 13) 上山敬司, 中川克二. 3D画像で学ぶ人体. 初版. 東京. 医学書院. 2009:79-84.
- 14) 杉本真樹. OsiriXパーフェクトガイド. 初版. 東京. エクスナレッジ. 2012:175-212.
- 15) Scott Spencer. デジタルスカルプティング 人体解剖学. 初版. 東京. ボーンデジタル. 2010:246-53, 269-85.
- 16) 南京中医学院編. 現代語訳黄帝内経素問中巻. 石田秀実, 白杉悦雄(監訳). 初版. 東京. 東洋学術出版社. 1992:367-97.
- 17) 山田慶児. 中国医学の起源. 初版. 東京. 岩波書店. 1999:60-77.
- 18) 東京都立産業技術研究センター. 3Dプリンタによるプロトタイピング. 初版. 東

京. オーム社. 2014 : 50-109.

19) 日本発達心理学会. 発達の基盤: 身体、認知、情動. 初版. 東京. 新曜社. 2012:192-204.

20) 西野由利恵, 安藤広志. 3次元物体の学習とクロスモーダルなトップダウン処理に関わる脳部位の特定. 電子情報通信学会技術研究報告. 2007 ; 107(332) : 27-32.