



Title	腰椎椎弓根壁におけるCT値の3次元的分布 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	入江, 朋世
Description	配架番号 : 2679
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医学)
Dissertation Number	甲第14935号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85744
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	IRIE_Tomoyo_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (医 学) 氏名 入江 朋世

学位論文題名

腰椎椎弓根壁における CT 値の 3 次元的分布

(Three-dimensional distribution of CT attenuation in the lumbar spine pedicle wall)

【背景と目的】

腰椎椎弓根スクリュー固定術は様々な脊椎疾患に対してゴールドスタンダードな術式であるが、特に骨粗鬆症患者においてはスクリューのゆるみや逸脱を認めやすい。新しいスクリュー固定術である皮質骨軌道法は、スクリューと皮質骨の接触面積が増すため骨粗鬆症患者に有用であると報告されている。過去の報告は、椎体や椎弓根の海綿骨におけるスクリュー引き抜き強度や、椎弓根の最狭部の皮質骨の厚さについてであり、椎弓根の皮質骨の骨密度に着目した報告はほとんどない。本研究の目的は腰椎椎弓根壁における Hounsfield Units (HU 値) の分布を 3 次元的に解析することである。

【対象と方法】

アメリカ人のボランティア男女 84 例を対象とした。脊椎すべり症 1 例、腰仙部移行椎 7 例、脊椎すべり症と腰仙移行椎の合併 1 例の計 9 例を除外し、健常ボランティア 75 例を評価した。第 1 腰椎(L1)～第 5 腰椎(L5)の椎弓根壁の HU 値の計測を独自のソフトウェアを用いて行った。椎弓根を前方から後方にかけて 30 分割し、各椎弓根断面において 6 度間隔(60 点)で放射状に椎弓根の HU 値を計測した。各角度において 0.5mm 間隔で椎弓根の HU 値を計測し、その最大値を各角度の計測値として用いた。椎弓根の断面を椎弓根の長軸を基準とし 90 度毎に内側、外側、頭側、尾側の 4 領域に分け、各領域内の最大 HU 値から平均値を算出し、領域間、腰椎レベル間で男女別、年齢別に統計学的に比較した。同一椎骨内の左右の椎弓根を paired Student' s t-test で、男女別と年齢別(20 歳代+30 歳代、40 歳代+50 歳代)は unpaired Student' s t-test で比較した。領域間、腰椎レベル間の比較は repeated-measures ANOVA with Tukey' s post hoc test を用いた。各腰椎レベルでの椎弓根壁の HU 値と椎体の HU 値の相関は Pearson' s correlation coefficients で解析した。有意水準は $p < 0.05$ とした。

【結果】

75 人の健常ボランティア(男性 39 人、女性 36 人、平均年齢 39.3 ± 9.6 歳、平均体重 74.9 ± 16.9 kg、平均身長 164.3 ± 12.3 cm、平均 BMI 27.9 ± 7.1 kg / m²) の L1～L5 の 750 椎弓根を評価した。椎体の HU 値の平均値は、L1～L5 それぞれ 209.3 ± 52.0 HU、 210.4 ± 53.9 HU、 198.9 ± 64.6 HU、 203.0 ± 75.9 HU、 204.3 ± 73.1 HU であった。全体、男性、女性、20 歳代+30 歳代、40 歳代+50 歳代のいずれにおいても腰椎レベル間に有意差はなかった。2 名(1 名は 45 歳の男性、1 名は 23 歳の女性)の L1 の椎体の HU 値は 110 HU 未満で、これは Pickhardt らによって提案された骨粗鬆症に該当した。椎弓根壁の HU 値に左右差はなかった。L1 ($p < 0.05$) を除いて性別による有意差はなかった。20 歳代+30 歳代の平均 HU 値は、40 歳代+50 歳代の平均 HU 値よりも高かった。L1 と L5 での平均 HU 値は、男性、女性、20 歳代+30 歳代、40 歳代+50 歳代のすべてで L2～4 の値よ

りも有意に低かった ($p < 0.03$)。外側の HU 値はすべての腰椎レベルで内側の HU 値よりも低かった ($p < 0.007$)。L1~L3 では尾側の HU 値は頭側の HU 値よりも高かった (それぞれ $p < 0.0009$, $p < 0.0001$, $p < 0.0001$) が、L4 と L5 では頭側の HU 値は尾側よりも高かった (それぞれ $p < 0.003$, $p < 0.0001$)。椎弓根壁の HU 値と椎骨の HU 値の関係は、女性の L4、男性の L2、40 歳代+50 歳代の L2 と L4 のみで相関を認めた。

【考察】

過去の報告では椎弓根の皮質骨の厚さや、椎弓根全体または椎弓根の海綿骨の骨密度について報告されていたが、本研究はクリニカル CT を用いて腰椎椎弓根壁の HU 値の分布を *in vivo* で評価した最初の研究である。

椎弓根壁の HU 値は、男性、女性、20 歳代+30 歳代、40 歳代+50 歳代のすべてにおいて L4 から L5 にかけて減少した。これは椎弓根全体 (皮質骨+海綿骨) の HU 値を報告した過去の研究結果と一致している。この結果は L4 から L5 にかけて椎弓根の断面の直径が増加することで説明できると考える。杉崎らは椎弓根の最狭部の長径が L4 から L5 にかけて男女においてそれぞれ 25%、27% 増加すると報告した。椎弓根の断面形状は楕円に近似されるため、長径のこれらの増加は断面二次モーメントを増加させ、曲げに対する抵抗性は男女それぞれ 95%、105% 増加する。したがって L5 椎弓根の HU 値の減少は、断面二次モーメントの増加によって引き起こされる応力の低下による骨組織の機能的適応の結果である可能性が示唆された。

外側はすべての腰椎レベルで内側よりも低い HU 値を示した。胸腰椎において、椎弓根スクリューの外側への穿破は重大な問題であることが報告されている。腰椎椎弓根の皮質骨の厚さを調べた過去の報告では、皮質骨の厚さは外側で最も薄いことがわかり、これは椎弓根スクリューが外側に穿破しやすい理由であると考えられた。椎弓根スクリューの穿破には様々な要因が関与していると考えるが、本研究で示した椎弓根外側壁の HU 値が低いことは、椎弓根スクリューの穿破の重要な要因である可能性が示唆された。

また本研究では、椎弓根の頭側と尾側間の HU 値に有意差が見られた。尾側の HU 値は L1~3 で高かったのに対し、L4、5 ではこの逆であった。これは L4、L5 では椎弓根スクリューの尾側への穿破が比較的起こりうり、神経学的合併症を引き起こす可能性があるという点で臨床的に重要である。術者は、HU 値が低い全腰椎レベルの外側と L4、L5 の尾側に気を付けるべきである。

椎骨の骨梁配列は 1925 年に Gallois と Japoit によって、椎弓根の頭側皮質骨に隣接して上関節突起から椎体下部に向かって斜めに走り、また椎弓根の尾側皮質骨に隣接して下関節突起から椎体上部に向かって斜めに走ることが報告された。関節突起と椎体をつなぐこれらの骨梁が前柱と後柱間の荷重伝達を担うことを考えると、頭側および尾側の椎弓根壁も荷重伝達に関与し、椎弓根に生じる曲げモーメントに関与する可能性が示唆された。今後、椎弓根壁の HU 値の違いを説明するには、椎弓根の応力/ひずみ分布と HU 値分布との相関に関する生体力学的研究が必要になると考える。

【結論】

本研究は、椎弓根軸から放射状に位置するピーク HU 値に基づく 3 次元的椎弓根モデルを作成し、腰椎椎弓根壁の HU 値の局所分布を調査した新しい研究である。本研究の結果は、L5 の HU 値が性別や年齢に関係なく L2~4 の値よりも有意に低く、外側の HU 値は全ての腰椎レベルで内側よりも低いことを示した。椎弓根壁の 3 次元的 HU 値分布は、3D モデルを作成せずに患者の DICOM データから直接測定できるため、臨床で用いる CT を使用し椎弓根固定術の術前計画として使用可能であると考えられる。