

氏名	黒川義隆
(ふりがな)	(くろかわ よしたか)
学位の種類	博士(医学)
学位授与番号	甲第 号
学位審査年月日	平成27年1月28日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	Biomechanical Evaluation of the Suture Anchors Used in Open-Door Laminoplasty A Cadaveric Study (片開き式頸椎椎弓形成術に用いられるスーチャー アンカーの生体力学的検討)
論文審査委員	(主) 教授 佐 浦 隆 一 教授 上 田 晃 一 教授 植 野 高 章

学位論文内容の要旨

《目的》

頸椎椎弓形成術では開大させた椎弓を保持する目的で、プレート固定や hidroksia パタイトブロックの介在設置など様々な手技が行われてきたが、近年、外側塊に設置したスーチャーアンカーと牽引糸(ナイロン糸)で椎弓を保持する術式も行われるようになってきた。しかし、スーチャーアンカーを用いた椎弓保持の妥当性を検討した報告はない。

本研究の目的は、頸椎椎弓形成術後にスーチャーアンカーに加わると想定される力学的負荷と外側塊に設置されたスーチャーアンカーの引き抜き強度を計測して、スーチャーアンカーを椎弓保持に使用する妥当性を生体力学的に検討することである。

《方 法》

6体の新鮮凍結死体に第3頸椎(C3)から第7頸椎(C7)まで左側頸椎椎弓根部に骨溝を作製しヒンジとした片開き式椎弓形成術を行った。C3、C5、C7の左外側塊に設置したスーチャーアンカーに牽引糸を結びつけ棘突起を保持し脊柱管を開大させたが、スーチャーアンカーと棘突起間の牽引糸にひずみゲージを設置して、スーチャーアンカーにかかる力学的負荷を計測した。まず、スーチャーアンカーにかかる負荷を①スーチャーアンカーと棘突起を牽引糸で締結した時、②片開き式椎弓形成術後の閉創時に計測し、①と②の負荷量の合算値を **static load** とした。つぎに、手術後の頸部の状態を想定して、頭部を6方向へ最大可動域まで徒手的に他動運動させ、運動方向ごとにスーチャーアンカーにかかる負荷を **dynamic load** として計測した。

Static load と **dynamic load** の計測後、再び開創しスーチャーアンカーを設置していない外側塊(左のC4とC6、右のC3からC7まで)にもスーチャーアンカーを設置し、計60個のスーチャーアンカーの引き抜き強度を計測した。引き抜き強度はフォースゲージを用いて用手的にスーチャーアンカーの長軸方向に **single force** をかけて計測した。多くのスーチャーアンカーは引き抜くことができたが、一部はスーチャーアンカーが破損して引き抜くことができなかった。合計60個のスーチャーアンカーの引き抜き強度、あるいはスーチャーアンカーが破損した時点での力学的負荷を **failure load** とした。

《結 果》

片開き式椎弓形成術後の頸部の可動範囲の平均値は屈曲、伸展、右回旋、左回旋、右側屈、左側屈の順に39.9、32.8、51.8、52.7、24.0、22.6度であったが、回旋と側屈の可動範囲に有意な左右差はなかった。

Static load はC3、C5、C7でそれぞれ 0.3 ± 1.3 N、 1.2 ± 1.6 N、 1.6 ± 3.1 N (mean \pm SD) で、その最大値はある個体のC7に設置したスーチャーアンカーに作用した7.1 Nであった。

一方、dynamic load は屈曲、伸展や左回旋時に大きくなり、その最大値は左回旋時に、ある個体の C7 に設置したスーチャーアンカーに作用した 7.8 N であった。回旋と側屈では、回旋時の C3 を除いて、左側へ運動させた時の方が右側へ運動させた時よりも有意に大きな負荷がスーチャーアンカーに生じていた ($P < 0.01$ 、Mann-Whitney U 検定)。

設置した 60 個のスーチャーアンカーのうち 52 個は引き抜くことができ、引き抜き強度の平均値は 120.6 N であった。一方、残りの 8 個はスーチャーアンカーと牽引糸の結合部で破損し引き抜くことができなかった。破損時の力学的負荷の平均値は 203.5 N であり、failure load は $131.7 \text{ N} \pm 45.2 \text{ N}$ (mean \pm SD) となった。

《考 察》

本研究では、片開き式椎弓形成術後の頸部の可動範囲は回旋、側屈ともに可動範囲に左右差を認めなかったが、スーチャーアンカーに生じる負荷に有意な左右差を認めた。片開き式椎弓形成術では術後の椎弓は構造的に非対称となるので、頸部の可動範囲に差は生じないが、椎弓の構造的非対称性を反映してスーチャーアンカーに生じる負荷に左右差が生じた。そして、スーチャーアンカーに生じる負荷の最大値は、左回旋時にある個体の C7 に設置したスーチャーアンカーに作用した 14.9 N (static load: 7.1 N + dynamic load: 7.8 N) であった。生体内では常に筋緊張がかかるうえに自動運動であることを考えると、実際には本研究結果よりもさらに大きな負荷がかかると予測できるが、生体内で負荷を計測することは不可能である。

一方、スーチャーアンカーの failure load は平均 131.7 N であった。この平均 failure load は今回計測可能であった最大負荷 (14.9 N) の 9 倍以上であり、頸部運動時に生体内で生じるスーチャーアンカーへの力学的負荷よりも遥かに大きく、頸椎椎弓形成術で開大させた椎弓を保持する目的にスーチャーアンカーと牽引糸を使用することは妥当であると推察できる。

本研究では片開き式椎弓形成術後の力学試験を実施したが、臨床場面では両開き式椎弓形成術でも開大させた椎弓を保持する目的にスーチャーアンカーと牽引糸を用いることも

少なくない。片開き式では長いレバーアームをもって椎弓全体を保持しなければならないのに対して、両開き式ではレバーアームが短くなり、また、椎弓の半側を保持するだけで良くなる。すなわち、スーチャーアンカーと牽引糸にかかる負荷は、片開き式椎弓形成術の方が大きいと考えられるので、両開き式椎弓形成術でもスーチャーアンカーを開大させた椎弓を保持する目的に使用することは力学的に妥当であると判断できる。

《結 論》

本研究では、スーチャーアンカーにかかる負荷量は片開き式椎弓形成術後の椎弓の構造的非対称性をよく反映していた。得られた結果から、頸椎椎弓形成術で開大させた椎弓を保持する目的でスーチャーアンカーを使用することは生体力学的観点から妥当であることが示された。

(様式 甲 6)

論文審査結果の要旨

頚椎椎弓形成術は頚椎の後方除圧術として一般的に行われる。この術式では開大した椎弓保持のために様々な方法が考案されている。近年、外側塊に設置したスーチャーアンカーと椎弓とを牽引糸を用いて締結し椎弓の開大を保持する術式も行われるようになってきた。しかし、開大させた椎弓にかかる負荷や頚椎外側塊に設置されたスーチャーアンカーの引き抜き強度を検討した報告はなく、スーチャーアンカー使用の妥当性は不明である。

そこで申請者は、新鮮凍結死体を用いて頚椎外側塊に設置したスーチャーアンカーにかかる負荷とその引き抜き強度を計測し、頚椎椎弓形成術の椎弓保持にスーチャーアンカーを使用することの妥当性を生体力学的な観点から検討した。

スーチャーアンカーにかかる負荷の最大値は 14.9 N、スーチャーアンカーが引き抜かれる、あるいは破損する failure load の平均値は 131.7 N であった。生体内では本結果よりも大きな負荷がスーチャーアンカーにかかる可能性は否定できないが、failure load は得られた負荷の最大値の 9 倍以上であり、生体内でスーチャーアンカーを使用することは妥当であることを示した。

また、術式に片開き式椎弓形成術を選択したが、運動方向の違いにより椎弓とスーチャーアンカーにかかる負荷には差が認められ、術後の椎弓の構造的非対称性を反映していることを明らかにした。このことはこれまでに検討されたことがなく、本研究で初めて示されたものである。

以上により、本論文は本学大学院学則第 11 条第 1 項に定めるところの博士（医学）の学位を授与するに値するものと認める。

(主論文公表誌)

Spine (Phila Pa 1976) 39 (21): E1248-E1255, 2014 <オンライン掲載>