大脳深部の血管構築と皮質下梗塞

山本 康正1)* 永金 義成2) 冨井 康宏1)

要旨:皮質下穿通枝4血管について支配領域を検討した. ①レンズ核線条体動脈(lenticulostriate artery; LSA) の分枝は, medial, intermediate, lateralの3群に分類される. Medial は尾状核頭部内側, 内包前脚, 被殻の内 側, intermediate は被殻・淡蒼球の前半, 尾状核頭部, 内包前脚, 放線冠前方, lateral は被殻・淡蒼球の後半, 内 包後脚の上部, 放線冠後方を灌流する. ②Heubner 動脈は, 尾状核頭部の下方, 被殻・淡蒼球の前下方等, 基底 核の前腹側を, ③前脈絡叢動脈は, 内包下部, 淡蒼球内節, 視床外側, 側頭葉内側, 中脳を灌流する. ④髄質枝 梗塞は半卵円中心に小梗塞をきたすが塞栓機序が多い. 半卵円中心は皮質枝間の境界領域, 放線冠は髄質枝とLSA 間の深部型境界領域に相当する.

(臨床神経 2020;60:397-406)

Key words:皮質下梗塞,レンズ核線条体動脈,Heubner 反回動脈,前脈絡叢動脈,髄質枝

はじめに

大脳実質への血流供給は穿通枝によってより直接的に行わ れており、大脳深部の脳卒中症候群の診断や梗塞メカニズム 把握には穿通枝の構築の理解が重要である¹⁾.近年急性期脳 梗塞の画像診断は拡散強調画像(diffusion weighted image; DWI)により高い感度で可能となったが、その判読には従来 以上に脳血管や脳解剖の理解が求められるようになった.従 来血管支配のテンプレートが作成されてきたが、DWI時代以 降に十分な論議がなされてはいない²⁾³⁾.本稿では、レンズ核 線条体動脈(lenticulostriate artery; LSA),Heubner 反回動脈、 前脈絡叢動脈(anterior choroidal artery; AChA)、髄質動脈 (medullary artery; MA)などの血管走行を中心に、各々の血 管の支配領域と隣接血管との関係、さらに、境界領域梗塞に ついて述べる.

LSA の走行と梗塞パターン

a) LSA の分枝と走行

LSA は中大脳動脈主幹の水平部(M1部)より分岐する穿 通枝で、2~12本(平均7.1本)からなり、M1 起始部より 2 mm から 14.9 mm の間で M1 の上面あるいは後面より分岐 する^{4)~6)}.時に M2 部からの分岐もある. LSA は玉ねぎの皮 様に近位部から遠位部に層状に配置されているが、M1 部の 近位では血管口径が小さく外側になるほど口径が大きくかつ 長い血管となり,最外側の近位部は700~800μに達する.共 通幹の場合は口径が1mmを超える場合もありうる⁷⁾⁸⁾.

LSA は分岐直後, medial (平均2本), intermediate (平均 3本), lateral (4~5本)の3群からなり,前有孔質を通過し て脳実質内に入る.前有孔質を通過する際に,各々,4本, 14本,8本に枝分かれする(Fig.1)⁴⁾.脳実質内ではこれらが 内側と外側の2群に分かれるが,Marinkovićらによれば, medial はそのまま内側群となり前後に広がって,尾状核頭 部,内包前脚の一部,後脚の前下部,被殻の内側・淡着球の 後方を灌流する⁷⁾. Intermediate, lateral は外側群をなすが, intermediate は外側前方枝群, lateral は外側後方枝群となる. 外側群の支配領域は,被殻の大半,淡着球の外側,尾状核頭 部の上方,内包前脚,内包膝部・内包後脚の上部全体,境界 領域としての放線冠などを支配する⁹⁾¹⁰⁾. LSA の分岐は M1 の外側になるほど急峻な角度をなして,M1の血流方向と逆 方向すなわち内側に走行する. 圧負荷に対する適応と思われ る⁷⁾¹¹⁾.

LSA は、内側から外側にかけ同一平面に並んでいるのでは なく、内側は前方に傾き外側は上後方に向かって走行し、全 体として扇をねじったような立体構造を形成する⁷⁾.したがっ て、内側の分枝は前方に、外側の分枝は後方に分布する.前 方枝と後方枝の角度は近位部で約44°(28°~80°)、扇のより 遠位部では114°(97°~128°)とされるが、LSA はねじれ構造 で前後にも一定の広がりを持っている点が血管支配を考える 上で重要である(Fig. 2)¹¹⁾.

^{*}Corresponding author: 京都桂病院脳神経内科〔〒 615-8256 京都市西京区山田平尾町 17〕

¹⁾京都桂病院脳神経内科

²⁾ 京都第二赤十字病院脳神経内科

⁽Received December 27, 2019; Accepted January 30, 2020; Published online in J-STAGE on May 19, 2020) doi: 10.5692/clinicalneurol.60.cn-001408



C) Lateral branches

Fig. 1 The three different groups of lenticulostriate artery (LSA) arising from the main trunk of middle cerebral artery (MCA).

The medial (A), intermediate (B) and lateral branches (C). Reprinted from the figure in the article of 4) with permission.



Fig. 2 Lateral view of the lenticulostriate arteries of the left middle cerebral artery (MCA).

The LSAs are located between the left and right arrows. Red arrows were added by the author. Reprinted from the figure in the article of 11) with permission.

b) Branch atheromatous disease (BAD) 型梗塞

LSA 領域の梗塞にはラクナ梗塞,BAD 型梗塞,線条体内包 梗塞 (striatocapsular infarction; SCI) などがある. Fisher は口 径が 200 µ以下の血管には lipohyalinosis が生じ 2~5 mm の ラクナ梗塞をきたすとしており,LSA 分枝の遠位部レベルの 梗塞である.一方,穿通枝の母動脈の分岐部近傍が microatheroma により閉塞して穿通枝全域に及ぶ梗塞をきた す場合 BAD 型脳梗塞とされる $12^{(2)}-19^{(2)}$.しかし,LSA 梗塞の多 くは分岐部でなくても $300 - 700 \mu \nu \land \nu \nu \sigma \iota$ microatheroma を基盤とする梗塞である.従って,通常ラクナ梗塞とされる 多くのケースでは lipohyalinosis より microatheroma の病理に よっていると考えられる.

BAD が大径穿通枝の起始部の単発閉塞とすれば、血管走行 と DWI 高信号の対比が可能である. 我々は LSA の BAD 型脳 梗塞を放線冠の中央を基準として前方型と後方型に分類し、 後方型は皮質脊髄路を障害し、進行性運動麻痺が多く麻痺も 高度であることを報告した(Fig. 3)¹⁷⁾¹⁸⁾.後方型の水平断を 見ると、被殻の最後縁を上向し放線冠のやや後部に位置する 場合が多い. 冠状断では乳頭体を通るスライス面で被殻の外 側をなぞるように側脳室に到達している(Fig. 2, 3). すなわ ち被殻の外側後部を上向しており、責任血管は lateral 由来の 外側後方枝の梗塞であると考えられる.一方、前方型は被殻 の中央を後方から前方にかけ通過して放線冠前方に至る(Fig. 2). おそらく、intermediate 由来の外側群前方枝の梗塞と考 えられる.

c) SCI

SCI は通常 2.0~3.0 cm 以上の径を有する^{20)~23)}, LSA の複 数あるいは全域の梗塞である.レンズ型,コンマ型,三角形



Posterior type Anterior type



Posterior type

Anterior type

Fig. 3 Two different types of infarcts of the lenticulostriate artery (LSA) caused by the branch atheromatous disease (BAD). Infarcts were divided into two groups comprising of anterior and posterior type according to the middle point of antero-posterior diameter of the lateral ventricle (top)¹⁸.

型などと呼称される梗塞を呈するが,水平断,冠状断,矢状 断ともにこのような形がみられ,LSAの灌流領域を示してい るといえる (Fig.2).内包の症状のみならず,しばしば皮質 症状を呈する.塞栓機序が最も多いが,中大脳動脈主幹部の アテローム血栓性閉塞でも生じ得る.

SCIでは、被殻・尾状核頭部・内包の全域が梗塞に陥る場 合と、被殻中心、尾状核頭部中心のパターンなどが観察され る.また虚血の侵襲程度により、均質の梗塞ではなく個々の 血管群の虚血が強調された"まだら型"もみられる(Fig.4). Patient 1 では、水平断で前方の尾状核頭部の梗塞は内側群の 領域と考えられ、矢状断では尾状核に沿って後方に伸びてい る(⇒)、水平断で、これよりやや外側後方にあり被殻前方の 梗塞は外側前方群(→)、さらに被殻後方梗塞は外側後方群 (→)の虚血と考えられる.外側前方群は矢状断では内側群 (⇒)と区別され後ろに位置し(→)、さらに後方に外側後方 群の梗塞が位置している(→).冠状断ではこの3型の梗塞 が前方から後方にかけて配列されている.Patient 2 では、尾 状核梗塞は内側枝群領域で(⇒)、被殻は外側枝群が責任病巣 となっている(→).

Heubner 反回動脈の走行と灌流領域

Heubner 反回動脈は,前大脳動脈の前交通動脈の近傍(A1-A2 junction) から1本あるいは2~3本の穿通枝として分岐し A1に沿うように反回して走行する^{24)~26)}.前有孔質を穿通し て、尾状核頭部の前半、被殻の前1/3、淡蒼球前内側部、内 包膝部・前脚の前下方、前交連一部、視床前核、などの、主 に基底核の前腹側を灌流する. その他に、シルビウス裂、前 頭葉, 嗅球, 視床下部前方, 視神経などに分枝を出している (Fig. 5)⁹⁾. 尾状核頭部の血流支配に関しては議論があるが²⁷⁾²⁸⁾, 70 例の剖検脳を検討した Maga らによれば、尾状核頭部の下 方は 22.5%, 上方は 2.2%が Heubner 動脈領域とされ, 実際 はLSA, とくに内側群からの支配が多い²⁴⁾. この点は我々の SCI 症例でも確認された (Fig. 4). Heubner 動脈は LSA 内側 群と並走することが多く、両者を含めて medial LSA とする立 場もある²⁹⁾.線条体部の灌流は主にLSAによるが,腹側部に なるほど Heubner 動脈の領域が大きくなる (Fig. 5)⁹⁾. Fig. 5 は Djulejić らによる死後脳に血管別に色素を注入した脳標本 であるが,彼らも述べているように,線条体前腹側部は, Heubner 動脈, medial LSA, 内頸動脈からの直接枝などが競 合的支配をしており variation が多い⁹⁾.

血管支配と脳機能の関連について, Heubner 動脈の支配領



Fig. 4 Two patients with striatocapsular infarction (SCI).

Open arrows indicate the infarct in the territory of the medial group of lenticulostriate artery (LSA), while thick arrows indicate that of the intermediate group and thin arrows indicate the lateral group.

域は limbic zone,外側 LSA 領域は sensorimotor zone,内側 LSA 領域は associative zone と対応しているとの考えもある³⁰⁾.

AChA の走行と灌流領域

AChAは、内頸動脈の最終分枝として後交通動脈分岐後より末梢側から分岐する^{31)~34)}. 側頭葉内側面から脚間槽を通り、視床枕後方で側脳室下角の脈絡叢に達する. 脳槽通過部分(cisternal segment)から主要な3血管が分岐する. 1. 外側に向かって側頭葉内側面(扁桃体,鈎,海馬前部)を灌流する分枝,2. 内側に走行し大脳脚や中脳を支配する分枝,そして、3. 上方に前有孔質を穿通して内包,基底核群を灌流する分枝である. この第3の上向性の分枝は,Rhotonら³²⁾, Marinkovićら³³⁾により、近位枝と遠位枝の2群に分けられている. 近位枝は内包膝部や淡蒼球内節を,遠位枝は内包後脚,内包後脚後方の retrolenticular part,視床外側などを灌流するとされている.

我々は,急性期脳梗塞連続症例 1,762 例から内包に限局する 脳梗塞 90 症例について検討を行った³⁵⁾.内包後脚後方 2/3 に 限局する梗塞を posterior type,内包後脚前方 1/3 を主座とする 梗塞を anterior type,内包後脚全域にわたる梗塞を combined type,長径が 1 mm 以下の梗塞を dot type とした (Fig. 6).
Posterior type が最も高頻度で 46 例 (51.1%),次いで dot type が 28 例 (31.1%), combined type 9 例, anterior type 7 例であった.
Posterior type は内包後脚後方 2/3 とともに 71.1%で視床外側に梗塞が及んでいたが淡蒼球内節は 13%であったのに対し, anterior type は視床外側はなく淡蒼球内節は 71.4%に見られた.この結果は、上記の microsurgical 研究による血管走行記述とよく対応しており,posterior type は上向枝の遠位枝の梗塞, anterior type は近位枝の梗塞であると考えられる.
Combined type は cisternal segment からの上向枝が共通幹になっていて BAD 機序などによっている可能性,dot type は lipohyalinosis によっている可能性が考えられた.

AChA は内包後脚後方 2/3 を灌流すると考えられている が³⁶⁾³⁷⁾,今回の検討で,内包後脚前方 1/3 も AChA の支配領 域であることを示すことが出来た.ただ,頻度が少ないとい う点は,この領域は LSA 内側群,Heubner 動脈,内頸動脈か ら直接分枝した穿通枝,後交通動脈から分枝した視床灰白隆 起動脈なども枝を伸ばしており,競合的な領域で variation が 多いためと考えられる⁹⁾.対側運動麻痺,半身感覚鈍麻,同





Left: The axial section through the genu and splenium of the corpus callosum. Lenticulostriate artery (LSA) supply lateral and superior part of the head of the caudate nucleus, while medial and inferior part are supplied by anterior cerebral artery (ACA) perforators. The LSA also supply almost the entire anterior limb of the internal capsule, putamen, and proximal part of the posterior limb of the capsule. The distal half or two-thirds of the posterior limb and the retrolenticular portion of the internal capsule are supplied by anterior choroidal artery (ACA) perforators. Right: The axial section through the inferior part of the superior colliculus. LSA supply the lateral and posterior part of the putamen, and the posterior limb of the internal capsule, the anterior and medial part of the putamen, the anterior part of the globus pallidus and the medial part of the anterior commissure. The ACA perforators nourish almost the entire posterior limb, the retrolenticular portion of the internal capsule, the anterior commissure. The ACA perforators perfuse the anterior and inferior part of the putamen, and the nucleus accumbens.

The territory of the ACA is presented in yellow, the middle cerebral artery (MCA) in red and the AChA in blue.

A = atrium of the lateral ventricle, AC = anterior commissure, AH = anterior horn of the lateral ventricle, ALi = anterior limb of internal capsule, BCCa = body of corpus callosum, BF = basal forebrain, BV = body of lateral ventricle, CCa = corpus callosum, CcS = calcarine sulcus, CF = column of fornix, CgG = cingulate gyrus, Cl = claustrum, CN = caudate nucleus, CnS = central sulcus, CP = cerebral peduncle, CR = corona radiata, CrF = crus of fornix, CS = centrum semiovale, Cu = cuneus, FF = fimbria of fornix, FL = frontal lobe, FMi = forceps minor, Ge = genu of internal capsule, GeCCa = genu of corpus callosum, GP = globus pallidus, GPl = lateral segment of globus pallidus, HCN = head of caudate nucleus, HF = hippocampal formation, Hy = hypothalamus, IC = internal capsule, IH = inferior horn of lateral ventricle, In = insula, LGB = lateral geniculate body, MGB = medial geniculate body, MP = missing part, MTF = mamillothalamic fasciculus, M2 = insular segment of MCA, OpT = optic tract, P = putamen, PC = posterior commissure, PH = posterior horn of lateral ventricle, PHG = parahippocampal gyrus, PLi = posterior limb of internal capsule, POS = parietooccipital sulcus, P2 = distal segment of posterior cerebral artery, Pu = pulvinar, RCC = radiations of corpus callosum, RLP = retrolenticular portion of internal capsule, RN = red nucleus, SCol = superior colliculus, SeA = septal area, SN = substantia nigra, SP = septum pellucidum, Spl = splenium of corpus callosum, STN = subthalamic nucleus, STS = superior temporal sulcus, SyC = Sylvian cistern, SyS = Sylvian sulcus, TCN = tail of caudate nucleus, TL = temporal lobe, TSV = thalamostriate vein, VR = visual radiations. Reprinted from the figure in the article of 9) with permission.

名半盲の三主徴を伴う Monakow 症候群が有名であるが,今回の検討では, Monakow 症候群は AChA 領域の梗塞の 1%のみであった.

髄質枝の走行と灌流領域

大脳皮質直下の白質である半卵円中心は,一般に,大脳白 質のうち水平断で側脳室の上端より上を指し側脳室が見えて いないレベルである.この名称は、横断面で白質が卵を半分 に割ったように見えることから由来している.半卵円中心を 灌流する血管は、脳表を走行する中大脳動脈皮質枝から垂直 方向に分枝して脳室に向かう髄質枝である.髄質枝は大脳基 底核や視床を灌流する深部穿通枝と区別して表在穿通枝とも 呼ばれる.一方、半卵円中心は中大脳動脈と前大脳動脈の皮 質枝間の境界領域となっている点も重要である(Fig.7,8).



Fig. 6 Three types of infarcts in the territory of the anterior choroidal artery (AChA)³⁵). Top: anterior type, middle: posterior type, bottom: combined type.

a) 髄質枝梗塞

髄質枝の1本が閉塞すると脳室とほぼ垂直方向に位置する 特有な髄質枝梗塞をきたす(Fig. 8). Yonemura らは MRI 拡 散強調画像を用いた解析を行い、半卵円中心梗塞では深部穿 通枝領域梗塞に比し, 突発完成型が多く, 内頸動脈・中大脳 動脈の狭窄・閉塞病変や塞栓源性心疾患合併が有意に多く、 塞栓機序によるケースが高いことを指摘した³⁸⁾. また, Lammie らは半卵円中心梗塞の剖検例の検討から、単発の半卵円中心 梗塞例では小血管病の特徴とともに心臓または大動脈に塞栓 源を有していることを指摘している 39). 小島らは, 経食道心 エコーを行って 79 例の髄質枝梗塞中 45 例に塞栓源性疾患を 検出し、卵円孔開存が29例で最も多く、次いで大動脈複合 粥腫病変15例,心房細動6例,頸動脈病変2例であった40. すなわち約半数余りに塞栓源性疾患が認められた. 塞栓源性 疾患が検出されなかった症例の大半は髄質枝の病変によるラ クナ梗塞と考えられる. 髄質枝梗塞は小梗塞で小血管病と認 識される傾向があるが、 塞栓症の可能性を絶えず念頭に置い て連続モニター,場合によっては経食道エコーを含めた塞栓 源検索を行う必要がある.

髄質枝梗塞とLSA 梗塞は水平断での区別は難しく, 冠状断の撮像が必要である. 髄質枝のうち中大脳動脈の insular

segment: M2 部から分岐し, 脳室前角に向かう分枝は long insular artery (LIA) と呼ばれている. Tamura らは, LIA 梗 塞 8 例について検討し, 画像の特徴としてシルビウス裂上端 から前角を結ぶ線 (anterior horn -insular cleft; A-I line) にほ ほ沿っていることを示し (Fig. 8)⁴¹⁾, 深部穿通枝梗塞に比較 して, 突然発症が多く, 塞栓源性疾患合併が多い傾向を指摘 している. LIA は髄質枝梗塞であるが, LSA と近く, A-I line より上方は髄質枝, 下方はレンズ核線条体動脈領域を区別す る点で重要である.

b) 境界領域梗塞

半卵円中心は皮質枝間の境界領域になっており,主に内頸 動脈の狭窄・閉塞病変に際し境界領域梗塞が生じることが多 い.この場合前後方向に小梗塞が多発するパターンが多く, 冠状断では,前大脳動脈と中大脳動脈の境界領域梗塞である ことが確認される (Fig. 7, 8)⁴²⁾⁴³⁾.

一方, 放線冠は半卵円中心の下部で, 大脳からの投射線維 が内包へ向かって収斂していく過程で扇状に広がる部分を指 し, 傍側脳室体部の白質に相当する. LSA の終末領域となっ ており, BAD 型梗塞が最大径を示す部位である. 放線冠はま た, 中大脳動脈 M1 部からの LSA と皮質枝からの髄質枝の間



Fig. 7 Cortical border zone infarction (CBZ) and internal border zone infarction (IBZ).

に形成される境界領域に相当し,深部型境界領域あるいは internal border-zone infarction (IBZ) と呼ばれる (Fig. 7, 8)⁴⁴⁾⁴⁵⁾. とくに中大脳動脈 M1 部の狭窄・閉塞性病変が背景にある場 合が多く,中大脳動脈主幹部の血行が不全となり,最も脆弱 となった LSA と髄質枝の間に梗塞が生じると考えられる.放 線冠の前後方向に数珠状に広がる DWI 高信号が特徴的であ る (Fig. 7). 我々の中大脳動脈狭窄症連続例で,有意に急性期 の症状増悪を示した DWI 高信号パターンは IBZ であった⁴⁶⁾.

半卵円中心や放線冠の境界領域梗塞は、しばしば多発性硬 化症などの脱髄性病変と類似することがある.多発性硬化症 では側脳室に垂直方向に楕円形の病変が認められ ovoid lesion として知られている⁴⁶⁾.これは髄質静脈の周囲の炎症性病変 によるもので動脈の終末領域に生じる境界領域梗塞とは異 なっている.また、境界領域梗塞が広汎となり虚血性白質病 変と区別がつかない場合もあるが、虚血性白質病変は皮質下 の U-fiber に及ばないのに対して、多発性硬化症では脳梁病変 とともに U-fiber 病変は特異的に認められる^{47/48)}.

境界領域梗塞は微小な塞栓子が末梢部を閉塞するという微 小塞栓機序と,狭窄などによる血行力学的機序が指摘されて いる. Caplan, Hennerich らは,高度狭窄などによる流速の 低下が,飛来した微小塞栓を wash out しにくくするという, wash out theory を唱えている⁴⁹⁾. このことは monkey に微小 粒子を使用した実験でも明らかにされている⁵⁰⁾. さらに,高 度狭窄部分で形成される動脈原性塞栓子のサイズ自体が,境 界領域部分の血管口径と一致することが,こうした特徴的な 梗塞巣分布の形成に関与することも示されている⁵¹⁾.皮質枝 間の境界領域梗塞では微小塞栓機序が主体となっているのに 対して,深部型境界領域梗塞は血行力学機序の関与が強い. すなわち,内頸動脈病変による半卵円中心レベルでは皮質枝 間境界領域梗塞を示すが比較的軽微な症候でとどまることが 多いのに対して,中大脳動脈病変に伴う深部型境界領域梗塞 では,急性期に増悪をきたし機能予後不良となるケースが多い.

おわりに

基底核部や内包の上半部は主に中大脳動脈の LSA により, 下部の前方は前大脳動脈の分枝により後方は AChA により灌 流されている.また内頸動脈からの分枝も内包膝部や淡蒼球 内側に分布し,互いに乗り入れて競合的支配のパターンとなっ ており,どの穿通枝が優位となるかで多様な variation がある ことを念頭に置く必要がある.また,半卵円中心の梗塞では 髄質枝梗塞,皮質枝間の境界領域梗塞が重要で,放線冠レベ ルは LSA 終末領域あるいは IBZ に相当し進行性運動麻痺をき たす場合が多く超早期の診断が重要である.

※著者全員に本論文に関連し,開示すべき COI 状態にある企業, 組織,団体はいずれも有りません.



Fig. 8

A: Two patients with medullary artery (MA) infarction. Top figure especially shows long insular artery (LIA) infarction. B: Microangiogram of cerebral perforating arteries¹³, superimposed by Branch atheromatous disease (BAD) type infarction (yellow colored), lacunar type infarction (brown colored) and MA infarction (navy blue colored) are superimposed. Polka dots indicate border-zone (BZ) between anterior cerebral artery (ACA) and middle cerebral artery (MCA). Pink dot line show the LIA and red colored dot circled means internal BZ. Reprinted from the figure in the article of 13) with permission.

文 献

- Yamamoto Y. Small Artery Occlusive Diseases. In: Caplan LR, Biller J, Leary MC, et al. editors. Primer on Cerebrovascular Diseases. Cambridge: Academic Press; 2017. p. 377-383.
- Tatu L, Moulin T, Bogousslavsky J, et al. Arterial territories of the human brain: cerebral hemispheres. Neurology 1998;50: 1699-1708.
- Ghika JA, Bogousslavsky J, Regli F. Deep perforators from the carotid system. Template of the vascular territories. Arch Neurol 1990;47:1097-1100.
- Rosner SS, Rhoton AL Jr, Ono M, et al. Microsurgical anatomy of the anterior perforating arteries. J Neurosurg 1984;61: 468-485.
- Marinković SV, Kovacević MS, Marinković JM. Perforating branches of the middle cerebral artery. Microsurgical anatomy of their extracerebral segments. J Neurosurg 1985;63:266-271.
- 6) Djulejić V, Marinković S, Maliković A, et al. Morphometric analysis, region of supply and microanatomy of the lenticulostriate arteries and their clinical significance. J Clin Neurosci 2012;19:1416-1421.
- 7) Marinkovic SV, Milisavljevic MM, Kovacevic MS, et al. Perforating branches of the middle cerebral artery. Microanatomy and clinical significance of their intracerebral

segments. Stroke 1985;16:1022-1029.

- 8) Cho AH, Kang DW, Kwon SU, et al. Is 15 mm size criterion for lacunar infarction still valid? A study on strictly subcortical middle cerebral artery territory infarction using diffusionweighted MRI. Cerebrovasc Dis 2007;23:14-19.
- Djulejić V, Marinković S, Georgievski B, et al. Clinical significance of blood supply to the internal capsule and basal ganglia. J Clin Neurosci 2016;25:19-26.
- Donzelli R, Marinkovic S, Brigante L, et al. Territories of the perforating (lenticulostriate) branches of the middle cerebral artery. Surg Radiol Anat 1998;20:393-398.
- Marinkovic S, Gibo H, Milisavljevic M, et al. Anatomic and clinical correlations of the lenticulostriate arteries. Clin Anat 2001;14:190-195.
- 12) Caplan LR. Intracranial branch atheromatous disease: a neglected, understudied, and underused concept. Neurology 1989;39:1246-1250.
- 13) Okudera T, Huang YP, Fukusumi A, et al. Micro-angiographical studies of the medullary venous system of the cerebral hemisphere. Neuropathology 1999;19:93-111.
- 山本康正. Branch atheromatous disease の概念・病態・治療. 臨床神経 2014;54:289-297.
- 15) Yamamoto Y, Ohara T, Hamanaka M, et al. Predictive factors for progressive motor deficits in penetrating artery infarctions

in two different arterial territories. J Neurol Sci 2010;288: 170-174.

- 16) Yamamoto Y, Ohara T, Hamanaka M, et al. Characteristics of intracranial branch atheromatous disease and its association with progressive motor deficits. J Neurol Sci 2011;304:78-82.
- 17) Ohara T, Yamamoto Y, Tamura A, et al. The infarct location predicts progressive motor deficits in patients with acute lacunar infarction in the lenticulostriate artery territory. J Neurol Sci 2010;293:87-91.
- 18) Yamamoto Y, Nagakane Y, Tomii Y, et al. The relationship between progressive motor deficits and lesion location in patients with single infarction in the lenticulostriate artery territory. J Neurol 2017;264:1381-1387.
- 19) Yamamoto Y, Nagakane Y, Makino M, et al. Aggressive antiplatelet treatment for acute branch atheromatous disease type infarcts: A 12 year prospective study. Int J Stroke. letter, 2014;9:E8
- Bladin PF, Berkovic SF. Striatocapsular infarction: large infarcts in the lenticulostriate arterial territory. Neurology 1984;34:1423-1430.
- Donnan GA, Bladin PF, Berkovic SF, et al. The stroke syndrome of striatocapsular infarction. Brain 1991;114:51-70.
- 22) Weiller C, Ringelstein EB, Reiche W, et al. The large striatocapsular infarct: a clinical and pathophysiological entity. Arch Neurol 1990;47:1085-1091.
- 23) Nicolai A, Lazzarino LG, Biasutti E. Large striatocapsular infarcts: clinical features and risk factors. J Neurol 1996; 243:44-50.
- 24) Maga P, Tomaszewski KA, Krzyżewski RM, et al. Branches and arterial supply of the recurrent artery of Heubner. Anat Sci Int 2013;88:223-229.
- 25) Gorczyca W, Mohr G. Microvascular anatomy of Heubner's recurrent artery. Neurol Res 1987;9:259-264.
- 26) Gomes F, Dujovny M, Umansky F, et al. Microsurgical anatomy of the recurrent artery of Heubner. J Neurosurg 1984;60: 130-139.
- 27) Caplan LR, Schmahmann JD, Kase CS, et al. Caudate infarcts. Arch Neurol 1990;47:133-143.
- 28) Kumral E, Evyapan D, Balkir K. Acute caudate vascular lesions. Stroke 1999;30:100-108.
- 29) Takahashi S, Goto K, Fukasawa H, et al. Computed tomography of cerebral infarction along the distribution of the basal perforating arteries. Part I: Striate arterial group. Radiology 1985;155:107-118.
- 30) Feekes JA, Cassell MD. The vascular supply of the functional compartments of the human striatum. Brain 2006;129:2189-2201.
- Yasargil MG, Yonas H, Gasser JC. Anterior choroidal artery aneurysms: their anatomy and surgical significance. Surg Neurol 1978;9:129-138.
- 32) Rhoton AL Jr, Fujii K, Fradd B. Microsurgical anatomy of the anterior choroidal artery. Surg Neurol 1979;12:171-187.
- 33) Marinkovic S, Gibo H, Brigante L, et al. The surgical anatomy of the perforating branches of the anterior choroidal artery. Surg Neurol 1999;52:30-36.
- 34) Takahashi S, Fukasawa H, Ishii K, et al. The anterior choroidal

artery syndrome. I. Microangiography of the anterior choroidal artery 1994;36:337-339.

- 35) Koizumi T, Yamamoto Y, Nagakane Y, et al. The anterior one third of the posterior limb of the internal capsule is also supplied by the anterior choroidal artery. J Neurol Sci 2019; 406:116455.
- 36) Hupperts RM, Lodder J, Heuts-van Raak EP, et al. Infarcts in the anterior choroidal artery territory. Anatomical distribution, clinical syndromes, presumed pathogenesis and early outcome. Brain 1994;117:825-834.
- 37) Hamoir XL, Grandin CB, Peeters A, et al. MRI of hyperacute stroke in the AChA territory. Eur Radiol 2004;14:417-424.
- 38) Yonemura K, Kimura K, Minematsu K, et al. Small centrum ovale infarcts on diffusion-weighted magnetic resonance imaging. Stroke 2002;33:1541-1544.
- 39) Lammie GA, Wardlaw JM. Small centrum ovale infarcts--a pathological study. Cerebrovasc Dis 1999;9:82-90.
- 40)小島雄太,武澤秀理,山本康正ら.半卵円中心梗塞の機序推定における経食道心エコーの有用性.臨床神経 2020;60: 414-419.
- 41) Tamura A, Kasai T, Akazawa K, et al. Long insular artery infarction: characteristics of a previously unrecognized entity. AJNR Am J Neuroradiol 2014;35:466-471.
- 42) Arakawa S, Minematsu K, Hirano T, et al. Topographic distribution of misery perfusion in relation to internal and superficial borderzones. AJNR Am J Neuroradiol 2003;24:427-435.
- 43) Mangla R, Kolar B, Almast J, et al. Border zone infarcts: pathophysiologic and imaging characteristics. Radiographics 2011;31:1201-1214.
- 44) Yong SW, Bang OY, Lee P H, et al. Internal and cortical border-zone infarction. Clinical and diffusion-weighted imaging features. Stroke 2006;37:841-846.
- 45) Yamauchi H, Nishii R, Higashi T, et al. Hemodynamic compromise as a cause of internal border-zone infarction and cortical neuronal damage in atherosclerotic middle cerebral artery disease. Stroke 2009;40:3730-3735.
- 46) Tamura A, Yamamoto Y, Nagakane Y, et al. The relationship between neurological worsening and lesion patterns in patients with acute middle cerebral artery stenosis. Cerebrovasc Dis 2013;35:268-275.
- 47) Ge Y. Multiple sclerosis: the role of MR imaging. AJNR Am J Neuroradiol 2006 1;27:1165-1176.
- 48) Miki Y, Grossman RI, Udupa JK, et al. Isolated U-fiber involvement in MS: preliminary observations. Neurology 1998;50:1301-1306.
- 49) Caplan LR, Hennerici M. Impaired clearance of emboli (washout) is an important link between hypoperfusion, embolism, and ischemic stroke. Arch Neurol 1998;55:1475-1482.
- 50) Maki T, Wakita H, Mase M, et al. Watershed infarcts in a multiple microembolic model of monkey. Neurosci Lett 2011; 499:80-83.
- 51) Tsukada N, Katsumata M, Oki K, et al. Diameter of fluorescent microspheres determines their distribution throughout the cortical watershed area in mice. Brain Res 2018;1679:109-115.

Abstract

Cerebral deep vascular architectures and subcortical infarcts

Yasumasa Yamamoto, M.D., Ph.D.¹⁾, Yoshinari Nagakane, M.D., Ph.D.²⁾ and Yasuhiro Tomii, M.D.¹⁾

¹⁾ Department of Neurology, Kyoto Katsura Hospital
 ²⁾ Department of Neurology, Kyoto Second Red Cross Hospital

The lenticulostriate arteries (LSA) supply the lateral half of the head of the caudate nucleus, entire putamen, anterior limb, genu and the superior part of the internal capsule (IC) and a part of the corona radiata. The LSA consists with medial, intermediate and lateral branches. The medial branches perfuse the lateral segment of the globus pallidus, the head of the caudate nucleus and the anterior limb of the IC. The intermediate branches supply the anterior half of the LSA territory, while the lateral branches supply the posterior half. The anterior cerebral artery (ACA) perforators, predominantly Heubner's artery, perfuse the inferomedial part of the caudate head, the anteromedial part of putamen, the anterior part of the lateral segment of the globus pallidus and anterior limb of the internal capsule. Such territories can be represented by the anterior and ventral basal ganglions. The anterior choroidal artery (AChA) gives off three main groups of branches including the lateral branches that supply the medial temporal lobe, the medial branches that supply the cerebral peduncle and the superior branches that supply the internal capsule and the basal ganglia. The superior branches are further discriminated into proximal branches that supply the anterior one third of the posterior limb of internal capsule (PLIC) and the medial segment of the globus pallidus and distal branches that supply the posterior two-third of PLIC, retro-lenticular part of the internal capsule and the lateral thalamic nuclei. The superficial penetrating arteries, i.e. medullary arteries, arise from the cortical branches of the middle cerebral artery (MCA) and supply the deep white matter. Infarcts caused by the medullary artery occlusion are located in the centrum-semiovale and half of them were caused by embolic mechanism. The centrum-semiovale corresponds to cortical border-zone (BZ) while the corona radiate corresponds to internal BZ.

(Rinsho Shinkeigaku (Clin Neurol) 2020;60:397-406)

Key words: subcortical infarcts, lenticulostriate artery, Heubner's recurrent artery, anterior choroidal artery, medullary artery