

尿失禁防止弁の開発

遠藤 拓¹⁾, 山口 脩¹⁾
1) 日大工・電気電子

【緒論】

昨年度の研究により、2つの回転する内部磁石と、隙間を埋めるように連結する複数のシートによる人工括約筋を考案した^[1]。今年度は尿道を圧迫し尿を止めておくために必要な耐久力と体外からの磁石を近づけて内部磁石を回転させ、排尿可能とする作動距離の測定を行い、両方の仕様を満たす内部磁石間距離を探した。

【回転磁石連結シート型人工括約筋の動作原理】

図1に回転磁石連結シート型人工括約筋の動作原理図を示す。通常は図1(a)のように尿道に巻いたシートが間の隙間を埋めるように連結し、尿道を周囲から圧迫して尿を止めている。膀胱に尿が溜まると膀胱圧力が上昇と下降を繰り返す排尿反射が起き、排尿を促す。しかし、排尿の意思に関係なく圧迫を緩和してしまうと尿漏れを起こしてしまう。これを防ぐために排尿反射による膀胱圧力の上昇に耐え、尿道を圧迫しておく必要がある。本人工括約筋ではシートを連結させているワイヤを2つの回転磁石で引っ張ることにより尿を止めている。この2つの回転磁石は体内に留置されているため、内部磁石と呼ぶ。内部磁石間距離を狭めると磁石間吸引力が増すため、より高い圧力まで耐えることができる。しかし、強い力で尿道を圧迫し続けると血流障害を起こす可能性があるため、排尿反射による膀胱圧力の2倍程度の圧力まで耐えられるように調整する必要がある。

次に排尿時の動作を説明する。図1(b)は排尿時の動作の原理図である。体の外側から内部磁石を引き付ける方向で磁石を近付ける。この磁石を外部磁石と呼ぶ。外部磁石に引き付けられた内部磁石は図のように回転する。これによりワイヤが緩み、尿道に巻いたシートが尿道の膨張力により、シート間の隙間を広げ、尿道が緩和され、排尿することができる。排尿可能にすることができるま

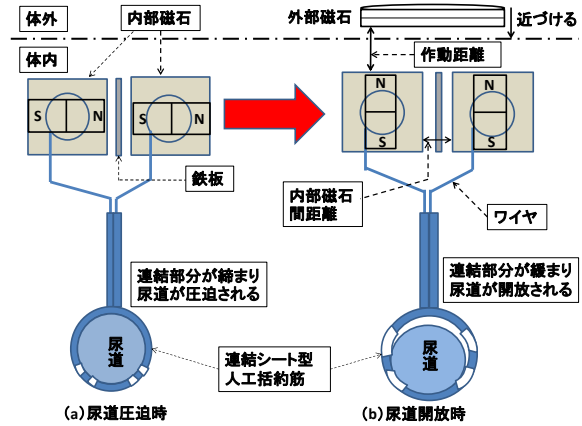


図1 回転磁石シート型人工括約筋の動作

で外部磁石を内部磁石に近づける必要があるため、本研究ではこの距離を作動距離と名付け、動作の確認を行った。内部磁石間距離が離れているほど、より遠くから内部磁石を回転させることができる。

耐久試験と作動距離試験はどちらも内部磁石間距離に依存する。しかし、これらはトレードオフの関係にある。本研究では内部磁石間距離を1[mm]刻みで変化させ、耐久と作動距離の両方を満たす条件を探った。

【耐久試験結果及び考察】

回転磁石を尿道圧迫状態である対向状態にして、ワイヤに重りをつけ、耐久試験を行った。排尿反射による膀胱圧力の上昇以上の圧力として約1[N]を目標値にした。内部磁石は長さを8[mm]一定とし、直径を4[mm]~8[mm]まで1[mm]ずつ大きなものを用意した。表1に内部磁石別の耐久試験の結果を示す。内部磁石間距離を1[mm]から6[mm]まで1[mm]ずつ離し、どこまで重りを保持できるか調べた。表中の網掛け部分は重り保持が可能であったことを示している。直径が大きなφ7[mm]とφ6[mm]の内部磁石は内部磁石間距離が3[mm]まで離しても重りを保持できたが、

φ5[mm], φ4[mm]と小さくなるに伴い、重りを保持するには内部磁石間距離を縮めなければならないことが分かる。直径が大きな磁石は吸引力が強いのでこのような結果になった。内部磁石は体内留置することになることから、小さい方が良い。そのため、以降の実験ではφ5[mm]×8[mm]の内部磁石を用いることにした。

【作動距離試験結果及び考察】

体内に留置する内部磁石と外部磁石の間には脂肪などの組織が存在する。この距離を3[cm]を設定し、細動距離が3[cm]以上となる内部磁石間距離を探した。φ5[mm]×8[mm]の内部磁石で作動距離を測定した結果、作動距離3[cm]以上を満たす内部磁石間距離は3[mm]以上となり、このままでは、耐久試験と作動距離の両方の仕様を満たすことはできなかった。そこで、内部磁石間に様々な形の鉄板を挿入し、耐久試験及び作動距離の向上を目指した。表2に様々な形状の鉄板における動作の結果を示す。表中の網掛けが耐久試験を満たす範囲を示し、表中の丸印の範囲が作動距離の仕様を満たすことを示している。作動距離は鉄板を挟むことによって仕様を満たす範囲は広がらなかった。耐久試験においては、内部磁石の直径に近い鉄板を用いた場合にな部磁石間距離が3[mm]以上となり、1[mm]仕様を満たす範囲を広げることができた。鉄板を介して内部磁石間の磁界が収束され、吸引力が向上したことが原因と考えている。これにより内部磁石間距離が3[mm]の場合において耐久試験と作動距離の両方の仕様を満たすことができた。

表3に3種類の大きさの外部磁石を用いた場合における内部磁石間距離依存性を測定した結果を示す。外部磁石として3種類の大きさの円柱磁石(大: φ50mm×10mm, 中: φ23mm×25mm, 小: φ25mm×10mm)を用いた。表中の○印は作動距離3[cm]以上の仕様を満たしたことを表している。また、網掛け部分は耐久試験の仕様を満たすことを表している。外部磁石が大きいものは内部磁石間距離が1[mm]から3[mm]の間で耐久試験と作動距離の両方を満たすことができた。しかし、小さい外部磁石では両方を満たす内部磁石間距離は存在しなかった。持ち運びと取扱いを考慮すると、外部磁石はできるだけ小さい方が良い。

表1 内部磁石別耐久試験結果

内部磁石間距離(mm)	1	2	3	4	5	6
Φ7×8						
Φ6×8						
Φ5×8						
Φ4×8						

表2 様々な形状の鉄板における動作の結果

内部磁石間距離(mm)	1	2	3	4	5	6
1/1鉄板			○	○	○	○
1/2鉄板			○	○	○	○
縦長鉄板			○	○	○	○
正方形鉄板			○	○	○	○
Φ7鉄板			○	○	○	○
Φ6鉄板				○	○	○
Φ5鉄板			○	○	○	○
Φ4鉄板			○	○	○	○
Φ3鉄板			○	○	○	○
Φ2鉄板			○	○	○	○
鉄板無し			○	○	○	○

表3 外部磁石別耐久及び作動距離試験結果

内部磁石間距離(mm)	1	2	3	4	5	6
Φ50×10	○	○	○	○	○	○
Φ23×25			○	○	○	○
Φ25×10				○	○	○

【結論】

内部磁石が回転し、尿を連結したシートで圧迫することで尿を止めておき、体外からの外部磁石で内部磁石をシートが緩むように回転させ、排尿可能になる人工括約筋を用いて、動作確認を行った。尿を止めておく耐久試験と外部磁石を近づけて排尿可能とする作動距離の両方を満たす内部磁石間距離を検討した。その結果、本研究での範囲ではΦ5鉄板を挟んだΦ5×8mmの内部磁石とΦ23×25mmの外部磁石を用いて、内部磁石間距離を3mmに設定した時、1N耐久試験と作動距離試験の両方の仕様を満たすことができることが分かった。

参考文献

- [1] 安達卓也, 佐藤寿記, 遠藤拓, 鈴木良夫: 「回転磁石を用いた連結シート型人工括約筋の開発」, 平成27年東北地区若手研究者研究発表会講演資料, pp. 209-210, (2015).